



TESIS - TE 142599

**PERANCANGAN ANTENA *VIVALDI* ARRAY
UNTUK APLIKASI *GROUND PENETRATING*
RADAR ULTRA WIDEBAND (GPR-UWB)**

NANCY ARDELINA
2214203015

DOSEN PEMBIMBING
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TE 142599

**DESIGN OF VIVALDI ARRAY ANTENNA FOR
GROUND PENETRATING RADAR ULTRA
WIDEBAND (GPR-UWB) APPLICATIONS**

**NANCY ARDELINA
2214203015**

**ADVISOR
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D**

**MASTER PROGRAMME
MULTIMEDIA TELECOMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Nancy Ardelina

NRP. 2214203015

Tanggal ujian : 18 Januari 2016

Periode wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

1. Eko Setijadi, ST., MT., P.hD
NIP. 197210012003121002

(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M. Eng.
NIP. 197011111993031002

(Penguji)

3. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 196109031989031001

(Penguji)

4. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 196605101992032002

(Penguji)

5. Dr. Istas Pratomo, ST., MT.
NIP. 197903252003121001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 196012021987011001

PERANCANGAN ANTENA VIVALDI ARRAY UNTUK APLIKASI GROUND PENETRATING RADAR ULTRA WIDEBAND (GPR-UWB)

Nama Mahasiswa : Nancy Ardelina
NRP : 2214203015
Dosen Pembimbing : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Salah satu jenis antenna yang sesuai untuk aplikasi *Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah antenna Vivaldi. Pada penelitian ini telah dirancang antenna antipodal Vivaldi array empat elemen dengan konfigurasi *H-Plane*. Antenna antipodal Vivaldi array terdiri dari empat antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal. Berdasarkan hasil simulasi, antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal bekerja pada rentang frekuensi 1.86 sampai 2.83 GHz, frekuensi tengah pada 2.377 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -23.369 dB, *bandwidth* 0.97 GHz atau 40.81%, *bandwidth* fraksional sebesar 41.36%, dan *gain* 3.2 dBi. Untuk mengoptimalkan performansi antenna array, maka perlu ditentukan jarak antarelelemen dengan efek *mutual coupling* terkecil. Berdasarkan hasil simulasi, jarak antarelelemen sebesar $10\lambda/8$ atau 6.6875 cm yang paling sesuai dengan kriteria desain. Berdasarkan hasil simulasi, antenna antipodal Vivaldi array empat elemen dengan jarak antarelelemen sebesar $10\lambda/8$ bekerja pada rentang frekuensi 1.7326 sampai 2.9103 GHz, frekuensi tengah pada 2.473 GHz dengan *return loss* sebesar -33.142 dB, *bandwidth* 1.1867 GHz atau 47.62%, *bandwidth* fraksional 50.73%, dan *gain* 10.9 dBi. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran antenna elemen tunggal bekerja pada frekuensi 2.04 sampai 2.37 GHz, frekuensi tengah pada 2.22 GHz dengan *return loss* sebesar -34.1526 dB dan VSWR 1.0399, *bandwidth* sebesar 0.33 GHz, *bandwidth* fraksional 53%, dan *gain* 14.7 dBi. Berdasarkan hasil pengukuran antenna antipodal Vivaldi array empat elemen bekerja pada rentang frekuensi 1.98 sampai 2.77 GHz, frekuensi tengah 2.46 GHz dengan *return loss* -38.8579 dB dan VSWR 1.023, *bandwidth* 0.79 GHz atau 32.11%, *bandwidth* fraksional 33.26%, dan *gain* 16 dBi. Antenna hasil fabrikasi telah memenuhi kriteria desain, namun terdapat perbedaan hasil pada beberapa parameter yang dapat disebabkan oleh ketepatan dimensi antenna hasil pengukuran dan penyolderan konektor ke antenna.

Kata kunci : Antena Vivaldi, Antena Vivaldi Array, GPR-UWB

DESIGN OF VIVALDI ARRAY ANTENNA FOR GROUND PENETRATING RADAR ULTRA WIDEBAND (GPR-UWB) APPLICATIONS

Student Name : Nancy Ardelina
NRP : 2214203015
Advisor : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

One of the most suitable antennas for Ground Penetrating Radar (GPR) application is Vivaldi antenna. In this research, four elements Antipodal Vivaldi Array Antenna has been proposed. This antenna consist of four element antipodal Vivaldi single antenna. Based on the simulation result, the single element antenna works well at 1.86-2.83 GHz, centre frequency of 2.377 GHz, return loss of -23.369 dB, 0.97 GHz or 40.81% bandwidth, 41.36% fractional bandwidth, dan 3.2 dBi of gain. In order to optimize the antenna array's performance, distance between elements with minimum mutual coupling is required. Distance between elements at $10d/8$ or 6.6875 are the most suitable for design criteria. Based on simulation result, the four elements antenna works well at 1.7326-2.9103 GHz, centre frequency of 2.473 GHz, return loss of -33.142 dB, 1.1867 GHz or 47.62% bandwidth, 50.73% fractional bandwidth, and 10.9 dBi gain. Based on the measurement result, the single element antenna works well at 2.04-2.37 GHz, 2.22 GHz centre frequency, -34.1526 dB return loss, 1.0399 of VSWR, 0.33 GHz or 1.486% bandwidth, 53% fractional bandwidth, and gain of 14.7 dBi. The four elements of antipodal Vivaldi array antenna works well at 1.98-2.77 GHz, 2.46 GHz centre frequency, -38.8579 dB return loss, 1.023 VSWR, 0.79 GHz or 32.11% bandwidth, 33.26% fractional bandwidth, and gain of 16 dBi. The fabricated antenna has meet the design criteria, however there are differences in several parameters that can be caused by the accuracy of the antenna's dimension and soldering process the connector to the antenna .

Keywords: Vivaldi Antenna, Vivaldi Array Antenna, GPR-UWB

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberikan berkat dan kasih-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Magister pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

PERANCANGAN ANTENA *VIVALDI* ARRAY UNTUK APLIKASI *GROUND PENETRATING RADAR ULTRA* *WIDEBAND* (GPR-UWB)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, ibu, kakek, nenek, kakak, dan semua keluarga penulis yang memberikan doa dan dukungan tiada henti.
2. Bapak Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D., dan Bapak Prasetyono Hari Mukti, S.T., M.T., M.Sc. atas segala bimbingan, waktu, dan arahan dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak/Ibu dosen Telekomunikasi Multimedia dan semua dosen Teknik Elektro ITS atas ilmu dan bimbingan.
4. Adi, Dipa, Wahyu, dan semua rekan-rekan S2 Telekomunikasi Multimedia atas segala bantuan dan motivasi untuk penulis.
5. Achmad Marzuki Yahya atas doa, tenaga, waktu dan motivasi selama proses penyelesaian tesis ini.
7. Teman-teman dan semua pihak terkait atas segala doa, dukungan, dan bantuan dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulis memohon maaf atas kekurangan pada penyusunan tesis ini. Penulis mengharapkan saran untuk perbaikan di masa yang akan datang. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat dikembangkan lebih baik untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2016

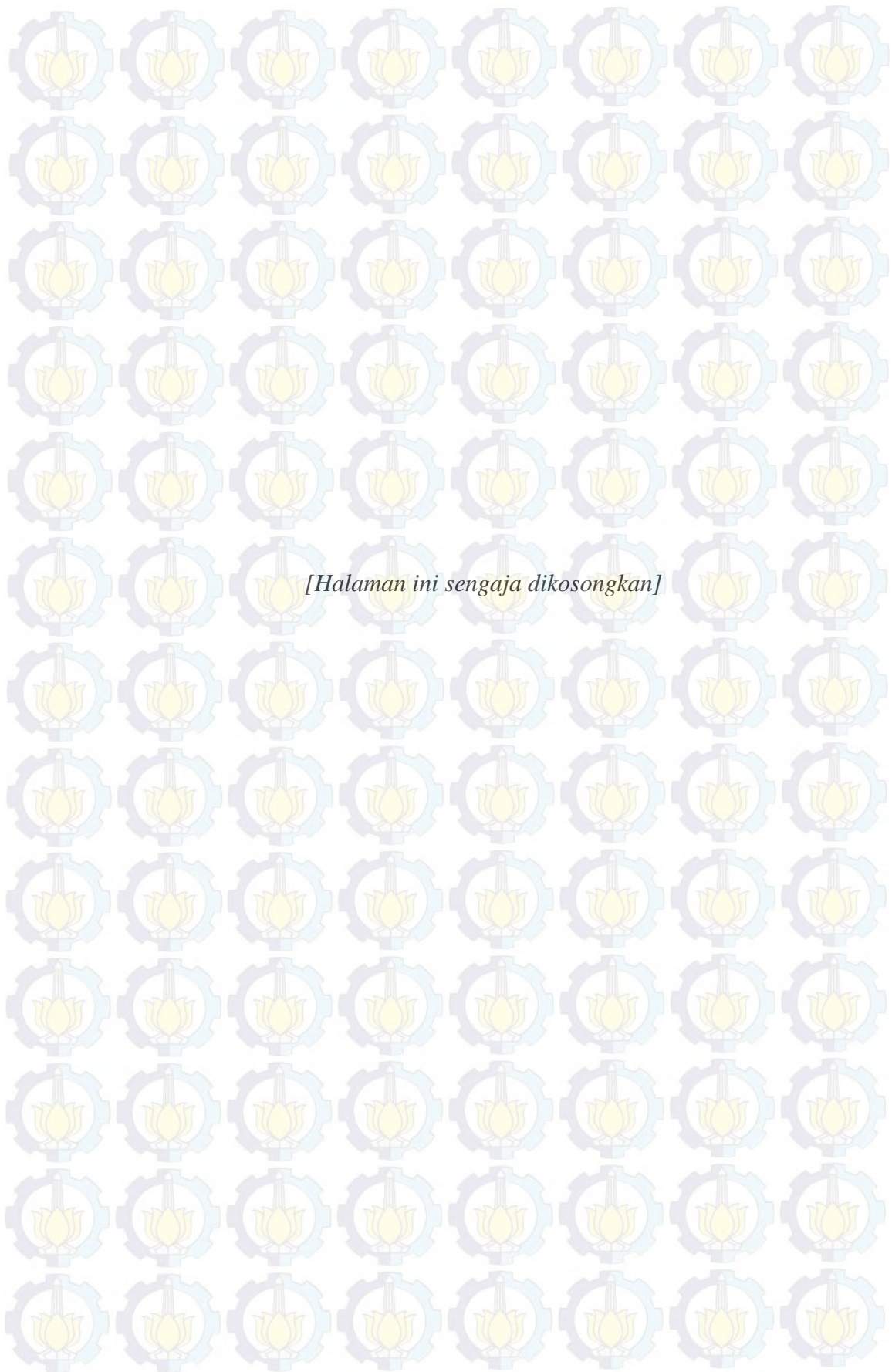
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Ultra Wideband (UWB).....	7
2.2 Ground Penetrating Radar (GPR).....	8
2.3 Antena	10
2.3.1 <i>S-Parameter</i>	10
2.3.2 <i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	12
2.3.3 <i>Bandwidth</i>	13
2.3.4 <i>Gain</i>	14
2.3.5 <i>Return Loss</i>	15
2.3.6 <i>Directivity</i>	15
2.3.7 Pola Radiasi	17
2.4 <i>Vivaldi Antenna</i>	19
2.5 <i>Array Antenna</i>	21

2.6 Sistem Pencatutan.....	22
2.7 Sistem Pencatutan.....	24
BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI.....	25
3.1 Penentuan Kriteria dan Spesifikasi Desain Antena.....	26
3.2 Desain Antena Antipodal Vivaldi Elemen Tunggal.....	27
3.3 Desain Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen	33
3.3.1 Desain Konfigurasi Antena Vivaldi Array Empat Elemen	37
3.3.2 Desain Awal Jarak Antarelemen Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen	38
3.4 Analisis Jarak Antarelemen pada Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen	39
3.4.1 Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $4d/8$	39
3.4.2 Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $6d/8$	42
3.4.3 Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $8d/8$	45
3.4.4 Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $10d/8$	48
3.4.5 Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $12d/8$	50
BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISIS	55
4.1 Fabrikasi dan Perancangan Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi.....	55
4.1.1 Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi	55
4.1.2 Perancangan Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen.....	57
4.2 Pengukuran dan Analisis Antena Antipodal Vivaldi Elemen Tunggal.....	57
4.2.1 Pengukuran Return Loss Antena Antipodal Vivaldi Elemen Tunggal.....	58
4.2.2 Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi	

Elemen Tunggal.....	60
4.2.3 Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi	
Elemen Tunggal.....	60
4.2.4 Pengukuran Gain Antena Antipodal Vivaldi	
Elemen Tunggal.....	61
4.3 Pengukuran Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen...	62
4.3.1 Pengukuran Return Loss Antena Antipodal Vivaldi	
Empat Elemen.....	62
4.3.2 Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi	
Empat Elemen.....	63
4.3.3 Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi	
Empat Elemen	64
4.3.4 Pengukuran Gain Antena Antipodal Vivaldi	
Empat Elemen	66
BAB 5 PENUTUP.....	
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	77
BIODATA PENULIS.....	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Frekuensi UWB Dibandingkan Sistem Komunikasi Radio Lain	1
Gambar 2.1 Batasan emisi daya spektrum UWB untuk Ground Penetrating Radar (GPR) yang diatur oleh FCC.....	8
Gambar 2.2 (a) mode pengukuran dengan mendeteksi hasil refleksi energy. (b) hasil observasi efek dari energi yang ditransmisikan melalui material.	9
Gambar 2.3 Blok diagram komponen utama dalam GPR	9
Gambar 2.4 Contoh Perangkat GPR	9
Gambar 2.5 Sistem Antena	11
Gambar 2.6 Konsep S-parameter pada sistem dua terminal.....	11
Gambar 2.7 Hasil Simulasi VSWR Pada Antena.....	13
Gambar 2.8 Hasil Simulasi <i>Bandwidth</i> pada Antena	14
Gambar 2.9 Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> pada Antena	16
Gambar 2.10 Hasil Simulasi <i>Directivity</i> pada Antena.....	17
Gambar 2.11 Hasil Simulasi Pola Radiasi pada Antena.....	19
Gambar 2.12 Struktur Coplanar <i>Vivaldi antenna</i>	20
Gambar 2.13 Struktur <i>Antipodal Vivaldi Antenna</i>	20
Gambar 2.14 Struktur <i>Balanced Antipodal Vivaldi Antenna</i>	21
Gambar 2.15 <i>TW patch array</i>	22
Gambar 2.16 Pencatuan linear seri	23
Gambar 2.17 Pencatuan paralel.....	23
Gambar 2.18 <i>Phase-delay corporate Feed</i>	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> perancangan antenna <i>antipodal Vivaldi Array</i> empat elemen	25
Gambar 3.2 Dimensi antenna <i>antipodal Vivaldi</i> elemen tunggal	27
Gambar 3.3 Antena <i>antipodal Vivaldi</i> elemen tunggal tampak depan.....	28
Gambar 3.4 Antena <i>antipodal Vivaldi</i> elemen tunggal tampak belakang...	29
Gambar 3.5 Antena <i>antipodal Vivaldi</i> elemen tunggal tampak perspektif.	29
Gambar 3.6 Simulasi Medan E pada antenna <i>antipodal Vivaldi</i> elemen tunggal	30

Gambar 3.7 Simulasi Medan E pada antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal	30
Gambar 3.8 Hasil simulasi VSWR Antena <i>antipodal</i> Vivaldi elemen tunggal	31
Gambar 3.9 Hasil simulasi Pola Radiasi dan <i>Gain</i> Antena <i>antipodal</i> Vivaldi elemen tunggal	31
Gambar 3.10 Hasil simulasi tiga dimensi Pola Radiasi dan <i>Gain</i> Antena <i>antipodal</i> Vivaldi elemen tunggal	32
Gambar 3.11 Antena <i>Antipodal</i> Vivaldi Array dengan konfigurasi planar .	32
Gambar 3.12 Kalkulasi koefisien dimensi port	34
Gambar 3.13 Dimensi port antenna antipodal vivaldi.....	35
Gambar 3.12 Antena <i>Antipodal</i> Vivaldi Array dengan konfigurasi <i>H-Plane</i>	33
Gambar 3.13 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi array empat elemen dengan jarak antarelemen $4d/8$	34
Gambar 3.14 Perbandingan impedansi input dan impedansi beban	35
Gambar 3.15 Pola radiasi hasil perkalian antenna antipodal vivadi elemen tunggal dan array factor	36
Gambar 3.16 Antena <i>Antipodal</i> Vivaldi Array dengan konfigurasi planar	37
Gambar 3.17 Antena <i>Antipodal</i> Vivaldi Array dengan konfigurasi <i>H-Plane</i>	37
Gambar 3.18 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi array empat elemen dengan jarak antarelemen $4d/8$	40
Gambar 3.19 Hasil simulasi <i>return loss</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $4d/8$	41
Gambar 3.20 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $4d/8$	41
Gambar 3.21 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> tiga dimensi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $4d/8$	42
Gambar 3.22 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$	43
Gambar 3.23 Hasil simulasi <i>return loss</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$	44

Gambar 3.24 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$	44
Gambar 3.25 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> tiga dimensi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$	45
Gambar 3.26 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $8d/8$	46
Gambar 3.27 Hasil simulasi <i>return loss</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $8d/8$	46
Gambar 3.28 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $8d/8$	47
Gambar 3.29 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> tiga dimensi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $8d/8$	47
Gambar 3.30 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $10d/8$	48
Gambar 3.31 Hasil simulasi <i>return loss</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $10d/8$	49
Gambar 3.32 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $10d/8$	50
Gambar 3.33 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> tiga dimensi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $10d/8$	50
Gambar 3.34 Simulasi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$	51
Gambar 3.35 Hasil simulasi <i>return loss</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$	52
Gambar 3.36 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$	52
Gambar 3.37 Hasil simulasi pola radiasi dan <i>gain</i> tiga dimensi antenna <i>antipodal</i> Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$	53
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal	56
Gambar 4.2 Hasil pengukuran <i>return loss</i> antenna antipodal Vivaldi elemen	

tunggal	59
---------------	----

Gambar 4.3 Perbandingan <i>return loss</i> hasil simulasi dan pengukuran pada antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal	59
---	----

Gambar 4.4 Hasil pengukuran VSWR antenna antipodal Vivaldi elemen Tunggal	60
--	----

Gambar 4.5 Pola radiasi antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal Theta 90.....	61
---	----

Gambar 4.6 Pola radiasi antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal Phi 90 .	61
--	----

Gambar 4.7 Hasil pengukuran <i>return loss</i> antenna antipodal Vivaldi <i>array</i> empat elemen	63
---	----

Gambar 4.8 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran antenna antipodal Vivaldi <i>array</i> empat elemen.....	64
---	----

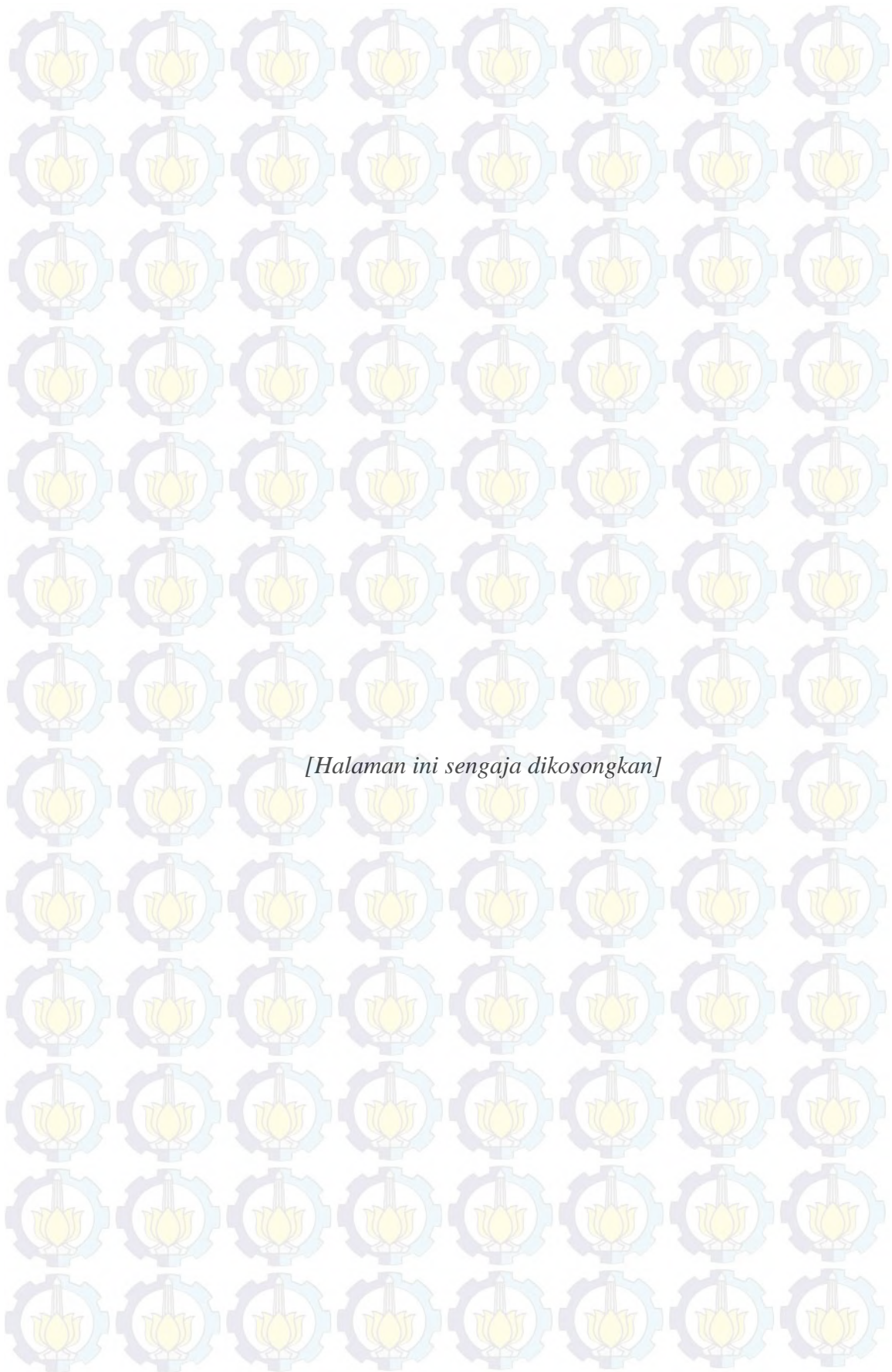
Gambar 4.9 Hasil pengukuran VSWR antenna antipodal Vivaldi <i>array</i> empat Elemen.....	65
--	----

Gambar 4.10 Hasil pengukuran pola radiasi antenna antipodal Vivaldi <i>array</i> empat elemen Theta=90	65
---	----

Gambar 4.11 Hasil pengukuran pola radiasi antenna antipodal Vivaldi <i>array</i> empat elemen Phi=90.....	66
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik desain antenna	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat dan <i>Patch</i> Antena	26
Tabel 3.3 Nilai parameter dimensi antenna elemen tunggal	28
Tabel 3.4 Perbandingan hasil simulasi jarak antarelemen antenna antipodal Vivaldi array empat elemen	54
Tabel 4.1 Perbandingan dimensi simulasi dan hasil fabrikasi	56
Tabel 4.2 Perbandingan parameter hasil simulasi dan pengukuran	67

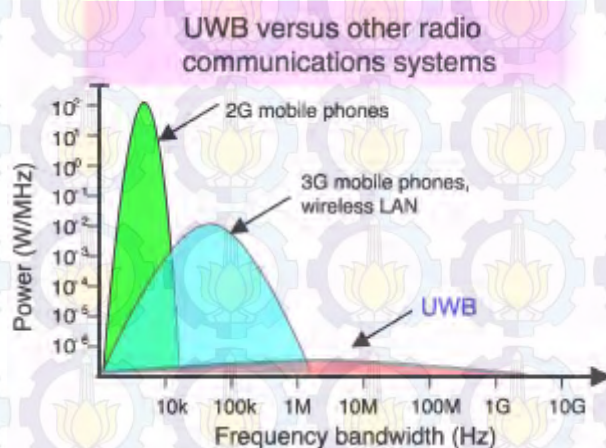


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang pesat telah mendorong terciptanya berbagai perangkat yang berfungsi untuk mendukung aktivitas manusia. Untuk mendukung perangkat telekomunikasi agar dapat berfungsi secara optimal maka dibutuhkan suatu teknologi yang mampu beroperasi pada frekuensi yang lebar. Teknologi pita lebar yang saat ini banyak dikembangkan adalah *Ultra wideband* (UWB). UWB merupakan sistem komunikasi yang memiliki *bandwidth* sangat lebar. UWB pertama kali dipublikasikan pada tahun 2002 oleh *Federation Communication Comission* (FCC). Agar dapat dikategorikan sebagai komunikasi UWB, syarat lebar *bandwidth* fraksional adalah 20% dari frekuensi tengah [1]. Keuntungan dari teknologi UWB terutama pada aplikasi radar adalah *bandwidth* yang lebih lebar sehingga beberapa kelebihan yang dapat diperoleh adalah keakuratan deteksi jarak, ketahanan terhadap *fading*, ketahanan terhadap *jamming*, dan beberapa manfaat yang lain.



Gambar 1.1 Frekuensi UWB Dibandingkan Sistem Komunikasi Radio Lain [2]

Dalam bidang telekomunikasi, elektromagnetik merupakan salah satu teknologi utama yang banyak diterapkan dalam perancangan suatu perangkat. Salah satu penerapan teknologi elektromagnetik adalah dalam perancangan teknologi *Radio Detection and Ranging* (Radar). Konsep radar merupakan

perkembangan dari teknologi elektromagnetik, sehingga prinsip utama teknologi radar adalah gelombang mikro dan Efek Doppler.

Salah satu implementasi radar yang banyak digunakan saat ini adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR). Pada dasarnya sistem GPR bekerja dengan memanfaatkan pemantulan sinyal. GPR merupakan penerapan teknologi elektromagnetik yang dirancang untuk mendeteksi objek yang terkubur di dalam tanah serta kedalaman objek tersebut. Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancaran dan penerimaan pulsa, selain itu kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik juga harus diketahui. Dengan penggunaan GPR maka sistem penggalian untuk pendeteksian objek di bawah tanah tidak diperlukan.

Sistem GPR terdiri dari pengirim (*transmitter*) yang merupakan antenna yang terhubung ke generator pulsa, bagian penerima yang terhubung ke unit pengolahan data (*data processing*), dan *display* sebagai tampilan keluarannya. Pada umumnya, *transmitter* memiliki *bandwidth* dengan kapasitas yang besar dan memiliki tenaga yang cukup kuat, efisien, dimensi yang tidak terlalu besar, dan tidak terlalu berat. Sedangkan *receiver* pada umumnya memiliki kemampuan untuk menyaring sinyal yang diterimanya agar sesuai dengan pendeteksian yang diinginkan, dapat memperkuat sinyal objek yang lemah, meneruskan sinyal tersebut ke pemroses data dan sinyal, kemudian menampilkan gambarnya di layar monitor.

Antena digunakan sebagai salah satu komponen utama dalam perancangan GPR. Antena merupakan suatu komponen dalam perangkat telekomunikasi yang mampu memancarkan dan/atau menerima gelombang elektromagnetik. Dalam sistem komunikasi tanpa kabel, antena merupakan salah satu komponen yang paling kritis karena antena yang baik akan meningkatkan performansi dari keseluruhan sistem. Beberapa syarat suatu antena dikategorikan sebagai antena yang baik adalah memiliki efisiensi pancaran di atas 50%, memiliki impedansi input yang sesuai dengan impedansi karakteristik pemancar, dan mampu meradiasikan dan menerima energi gelombang radio dengan arah polarisasi yang sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Peran antena dalam aplikasi GPR

sangatlah penting dalam menentukan performansi sistem. Antena GPR pada umumnya dioperasikan dekat dengan tanah sehingga antena yang dirancang harus dapat mengirimkan medan elektromagnetik melalui *interface* antena tanah secara aktif.

Beberapa faktor yang juga harus dipertimbangkan dalam pemilihan jenis antena yang akan digunakan untuk aplikasi GPR adalah jenis objek yang akan dideteksi, kedalaman objek, dan karakteristik elektrik medium tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah, penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien, menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang besar dari objek yang dideteksi, dan *bandwidth* yang cukup untuk menghasilkan resolusi yang baik.

Untuk merancang suatu sistem GPR UWB yang optimum, salah satu jenis antena yang paling sesuai adalah *antipodal Vivaldi antenna*. *Antipodal Vivaldi antenna* memiliki *bandwidth* yang lebih lebar, *cross polarization* yang rendah, dan pola radiasi direktif yang tinggi.

Dalam aplikasinya untuk sistem GPR, *antipodal Vivaldi UWB antenna* akan dirancang secara *array*. Antena *array* merupakan antena yang terdiri dari beberapa elemen yang saling berhubungan dan diatur dalam struktur yang teratur untuk menjadi satu *antenna*. Pada umumnya, antena yang tersusun secara *array* merupakan antena yang identik. Beberapa tujuan utama dalam perancangan antena *array* antara lain untuk meningkatkan daya radiasi, meningkatkan *gain* dan direktifitas antena, memungkinkan antena untuk bekerja pada *band* yang lebar, juga memungkinkan diterapkannya *diversity*. Suatu antena *array* menghasilkan pola radiasi yang memiliki karakteristik tertentu yang diinginkan.

Pada penelitian ini akan dirancang antena *Vivaldi array* untuk aplikasi UWB. Antena *Vivaldi* yang sudah dirancang kemudian akan dirancang secara *array* untuk lebih mengoptimalkan peran antena dalam keseluruhan sistem GPR.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana spesifikasi dari *Vivaldi array antenna* yang sesuai dengan karakteristik GPR yang diharapkan?
2. Bagaimana desain dari *Vivaldi array antenna* yang sesuai dengan spesifikasi GPR yang diharapkan?
3. Bagaimana karakteristik *Vivaldi array antenna* berdasarkan simulasi dan perhitungan?
4. Bagaimana jarak antar elemen untuk menghindari *coupling* antar elemen?

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan dalam penelitian ini akan dibatasi dalam hal-hal sebagai berikut:

1. Antena yang dirancang bekerja pada frekuensi 2-2.5 GHz
2. Antena yang direalisasikan menggunakan material RO4360
3. Parameter yang menjadi acuan perancangan S-Parameter, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain, mensimulasikan, dan merealisasikan *Vivaldi array* antena yang sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan.

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah merancang *Vivaldi array antenna* yang sesuai dengan aplikasi GPR UWB.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, penentuan kriteria dan spesifikasi desain, analisis dimensi antena, simulasi dengan *CST Microwave Studio*, analisis parameter hasil simulasi, optimasi hasil simulasi, fabrikasi antena, pengukuran antena yang telah difabrikasi, analisis dan Kesimpulan, dan penyusunan buku tesis.

a. Studi Literatur

Studi literatur digunakan guna menunjang pemahaman dan penguasaan materi terutama yang berkenaan dengan topik tesis. Beberapa topik literature tersebut antara lain Vivaldi antenna, GPR-UWB, dan antenna array Vivaldi

b. Penentuan Kriteria dan Spesifikasi Desain

Penentuan kriteria dan spesifikasi desain antenna digunakan untuk menentukan performansi antenna yang diinginkan sehingga sesuai dengan aplikasi GPR.

c. Analisis Dimensi Antena

Penentuan dimensi awal digunakan untuk menentukan dimensi antenna agar sesuai dengan parameter-parameter yang diinginkan.

d. Simulasi dengan *CST Microwave Studio*

Setelah analisis dimensi antenna, tahap berikutnya adalah mensimulasikan hasil analisis dengan *CST Microwave Studio*

e. Analisis Parameter Hasil Simulasi

Pada tahap ini dilakukan analisis parameter hasil simulasi antenna dan analisis hasil unjuk kerja antenna

f. Optimasi Hasil Simulasi

Setelah analisis parameter hasil simulasi, selanjutnya dilakukan optimasi untuk meningkatkan performansi antenna

g. Fabrikasi Antena

Jika antenna telah selesai dioptimasi, maka tahapan selanjutnya adalah fabrikasi antenna.

h. Pengukuran Antena yang Telah Difabrikasi

Setelah antenna difabrikasi, tahap selanjutnya adalah pengukuran antenna hasil fabrikasi berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan

i. Analisis dan Kesimpulan

Antena yang telah difabrikasi dan diukur, selanjutnya akan dianalisis unjuk kerjanya. Parameter-parameter hasil simulasi dibandingkan dengan hasil

pengukuran kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan dari hasil analisis tersebut.

j. Penyusunan Buku Tesis

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan tesis ini akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I

Pendahuluan

Bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II

Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan tentang konsep dasar UWB, antena Vivaldi dan beberapa parameter terkait dengan perancangan antena.

Bab III

Perancangan dan Simulasi

Bab ini berisi perancangan antena antipodal Vivaldi meliputi analisis dimensi dan jarak antarelelemen dan simulasi

Bab IV

Pengukuran dan Analisis

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil fabrikasi antena dan pengukuran parameter-parameter terkait serta analisis hasil pengukuran.

Bab V

Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan pada bagian sebelumnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ultra Wideband (UWB)

Ultra wideband (UWB) merupakan suatu teknologi yang pada era tahun 1960 dikembangkan untuk komunikasi militer. Namun saat ini UWB telah menjadi salah satu teknologi wireless yang banyak digunakan. Sistem komunikasi UWB telah diajukan oleh *Federal Communication Commission* (FCC) pada tahun 2002 [1].

Beberapa kelebihan teknologi UWB ini adalah transfer rate yang relatif lebih cepat, jaringan UWB mampu berkomunikasi dalam jarak jangkauan yang relatif jauh, sesuai untuk digunakan dalam multimedia streaming, dan dapat melakukan multikoneksi yaitu lebih dari satu koneksi secara bersamaan. Selain itu, keuntungan teknologi UWB adalah interferensi yang kecil karena transmisi yang disebarkan melalui spectrum radio dan tersebarnya sinyal membuatnya lebih sulit dihambat. Karena sinyal yang dihasilkan berdaya rendah dan menyebar melalui spektrum, maka sinyal ini bisa berbagi ruang dengan komunikasi radio yang sudah ada dan tidak menyebabkan layanannya terganggu. Ini penting mengingat saat ini hampir semua area pada spektrum radio sudah dipakai untuk berbagai layanan.

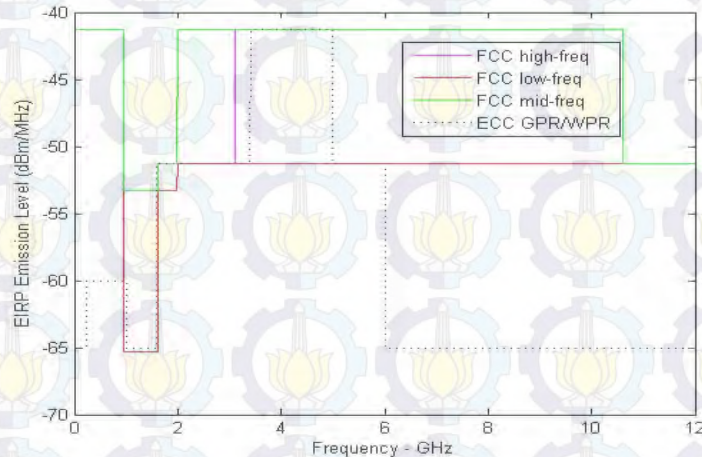
UWB merupakan sistem komunikasi jarak pendek dengan *bandwidth* yang lebar. Agar suatu sistem dapat dikategorikan sebagai UWB maka syarat utama yang harus dipenuhi adalah lebar *bandwidth* lebih dari 500 MHz, atau *bandwidth* fraksional lebih besar 20%. *Bandwidth* fraksional merupakan rasio *bandwidth* terhadap frekuensi tengahnya. Nilai *bandwidth* fraksional dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Bandwidth Fraksional} = \left[\frac{2(f_h - f_l)}{f_h + f_l} \times 100\% \right] \quad (2.1)$$

Keterangan : f_h = frekuensi tertinggi (Hz)

f_l = frekuensi terendah (Hz)

Untuk aplikasi GPR, FCC juga memberikan regulasi yang mengatur batasan emisi daya dari spektrum UWB yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

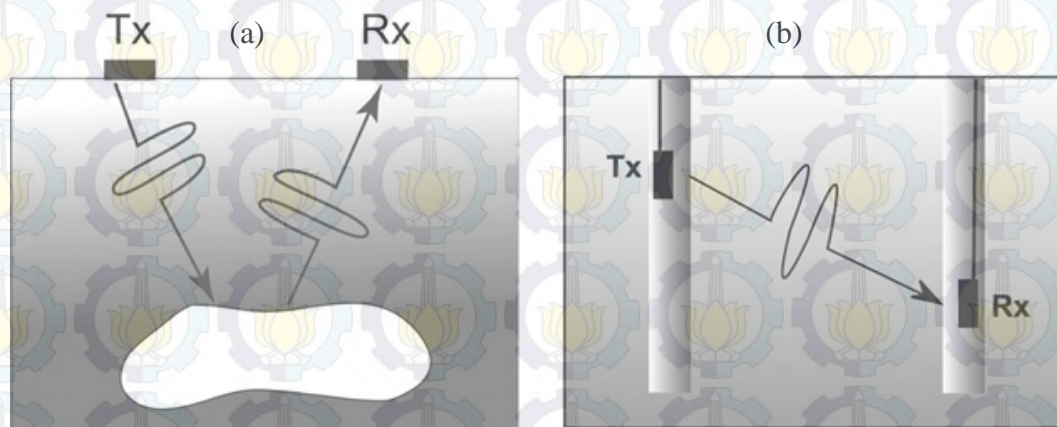


Gambar 2.1 Batasan emisi daya spektrum UWB untuk Ground Penetrating Radar (GPR) yang diatur oleh FCC [3]

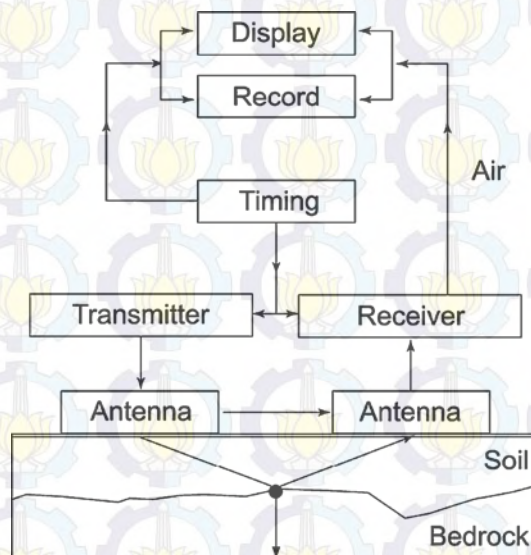
2.2 Ground Penetrating Radar (GPR)

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan metode geofisika dengan menggunakan teori elektromagnetik (EM) yang dirancang untuk mendeteksi objek yang berada di dalam tanah serta mengevaluasi kedalaman objek tersebut. Selain itu, dengan menggunakan GPR, dapat juga diketahui kondisi dan karakteristik permukaan bawah tanah tanpa mengebor atau menggali tanah. Sehingga dengan penggunaan GPR, untuk mendeteksi benda-benda di bawah permukaan tanah tidak lagi diperlukan penggalian sehingga proses pendeteksian menjadi lebih efektif. [4]

Prinsip dasar dalam teknologi GPR adalah teori elektromagnetik (EM) [5][6] GPR menggunakan gelombang radio untuk menyelidiki permukaan dari material dielektrik. Dua mode pengukuran yang biasa digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2 (a) adalah mode pengukuran dengan mendeteksi hasil refleksi energy. Sedangkan pada gambar 2.2 (b) merupakan hasil observasi efek dari energi yang ditransmisikan melalui material.



Gambar 2.2 (a) mode pengukuran dengan mendeteksi hasil refleksi energy. (b) hasil observasi efek dari energi yang ditransmisikan melalui material.[6]



Gambar 2.3 Blok diagram komponen utama dalam GPR [6]



Gambar 2.4 Contoh Perangkat GPR

Karakteristik dari sistem radar ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya *signal generation*, *signal capture method*, pemrosesan sinyal, faktor performansi, *dynamic range*, frekuensi tengah, *bandwidth*, keandalan, dan *portability*.

Cara kerja GPR pada dasarnya adalah memanfaatkan pemantulan sinyal. Suatu sistem GPR terdiri dari rangkaian pemancar (*transmitter*), dan rangkaian penerima (*receiver*). Transmitter pada sistem GPR merupakan suatu sistem antena yang terhubung ke sumber pulsa. Sedangkan receiver pada sistem GPR merupakan suatu sistem antena yang terhubung ke sebuah unit pengolahan sinyal.

Perkembangan dari GPR adalah GPR *Ultra wideband* (GPR UWB) yang menggunakan *bandwidth* yang lebar sehingga beberapa keuntungan yang dapat diperoleh diantaranya adalah keakuratan deteksi jarak, ketahanan terhadap fading, ketahanan terhadap jamming, dan beberapa manfaat yang lain [7]

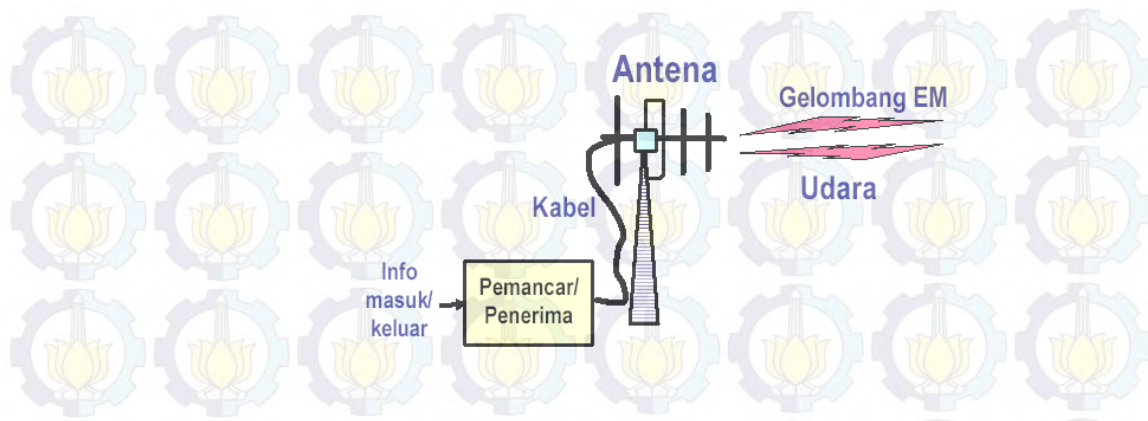
2.3 Antena

Antena adalah suatu alat yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas dan sebaliknya menjadi penerima gelombang dari udara bebas. Suatu sumber yang dihubungkan dengan saluran transmisi yang tak berhingga penjangnya menimbulkan gelombang berjalan sepanjang saluran itu. Jika saluran ini dihubungkan singkat maka akan muncul gelombang berdiri yang disebabkan oleh interferensi gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan. Gelombang berdiri murni akan dihasilkan bila gelombang datang sama besar dengan gelombang yang dipantulkan.

Dalam perencanaan antena, beberapa parameter yang harus dipertimbangkan antara lain *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *bandwidth*, *gain*, *directivity*, dan pola radiasi.

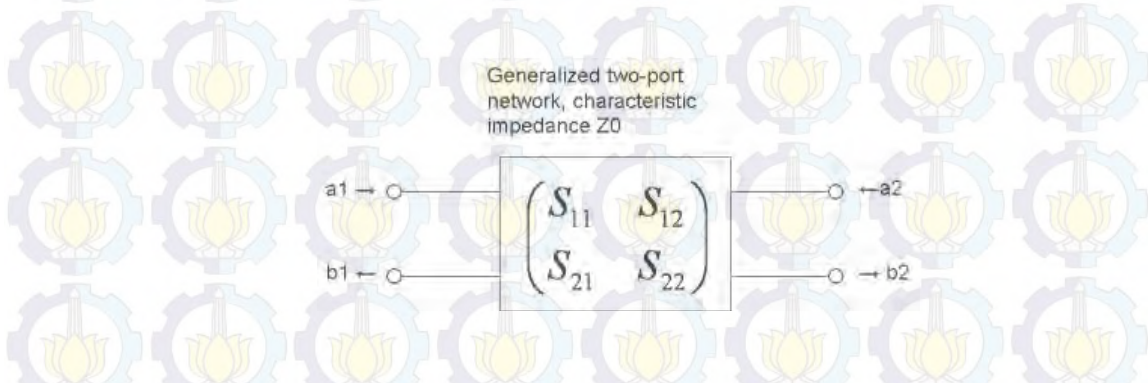
2.3.1 S-Parameter

Scattering parameter (S-Parameter) merupakan besaran yang menyatakan ratio daya yang dipantulkan atau diteruskan terhadap daya yang masuk ke dalam suatu saluran transmisi.



Gambar 2.5 Sistem antena

S-parameter digunakan untuk menganalisa respon dari dua terminal (*port*) atau lebih. S-parameter banyak digunakan dalam perhitungan dan desain alat pada gelombang mikro karena bentuknya yang linear sehingga mudah untuk diukur dan dianalisa. Gambaran dari sistem dua terminal dan S-parameter bisa dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Konsep S-parameter pada sistem dua terminal

Dari Gambar 2.6 dapat disimpulkan bahwa nilai dari S Parameter dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\begin{pmatrix} b1 \\ b2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a1 \\ a2 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Sehingga:

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2 = 0} \quad (2.3)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2 = 0} \quad (2.4)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1 = 0} \quad (2.5)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1 = 0} \quad (2.6)$$

Dimana :

a_1 = gelombang datang pada *port* 1

a_2 = gelombang datang pada *port* 2

b_1 = gelombang yang dipantulkan pada *port* 1

b_2 = gelombang yang dipantulkan pada *port* 2

2.3.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{max}$) dengan minimum ($|V|_{min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Rumus untuk mencari VSWR adalah [8]:

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.7)$$

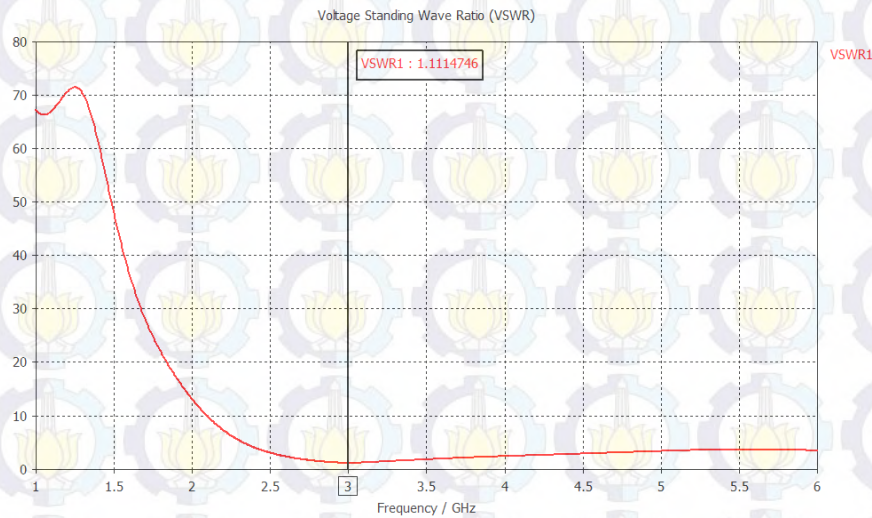
Dimana:

S = VSWR

$|V|_{max}$ = gelombang berdiri maksimum

$|V|_{min}$ = gelombang berdiri minimum

Γ = koefisien refleksi



Gambar 2.7 Hasil Simulasi VSWR pada Antena

Pada Gambar 2.7, nilai VSWR dari antena pada frekuensi kerja 3 GHz adalah 1.1114746.

2.3.3 Bandwidth

Bandwidth suatu antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kerja yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain* efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standard. *Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$BW = f_H - f_L \quad (2.8)$$

Besarnya *bandwidth* apabila dinyatakan dalam persen adalah:

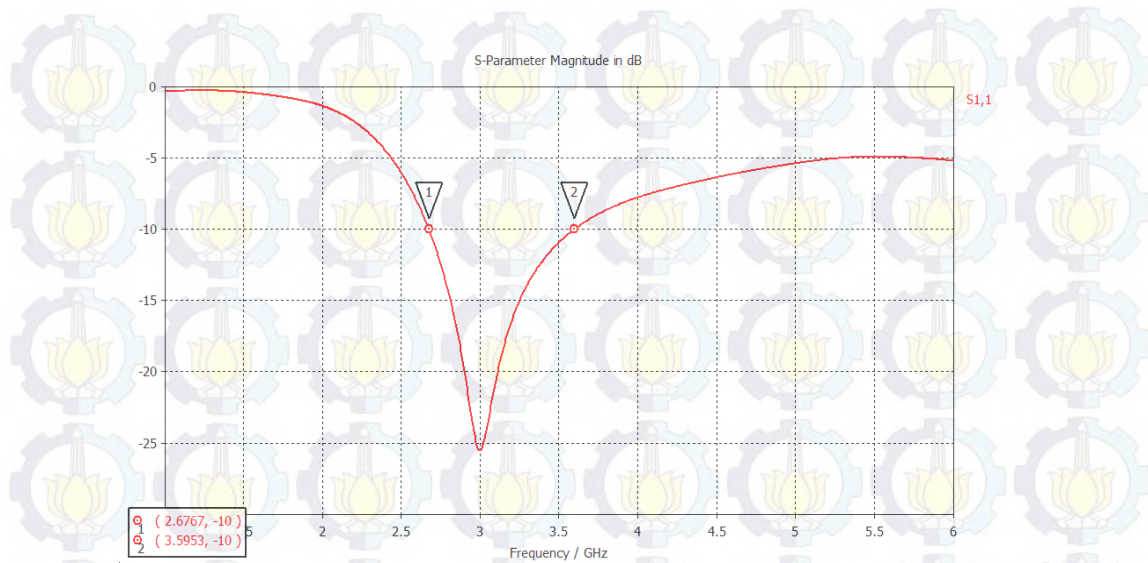
$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_c} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana: BW = *bandwidth*

f_H = frekuensi tertinggi

f_L = frekuensi terendah

f_c = frekuensi kerja



Gambar 2.8 Hasil Simulasi *Bandwidth* pada Antena

Pada gambar 2.8 dapat dihitung nilai *bandwidth* dari antena yang disimulasikan adalah:

$$\begin{aligned} BW &= 3.5953 \text{ GHz} - 2.6767 \text{ GHz} \\ &= 0.9186 \text{ GHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BW &= \frac{3.5953 \text{ GHz} - 2.6767 \text{ GHz}}{3 \text{ GHz}} \times 100\% \\ &= 30.62\% \end{aligned}$$

2.3.4 Gain

Gain antena diartikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi secara isotropis dari daya yang diterima antena. *Gain* menandakan seberapa jauh sinyal dapat dikirim pada jarak tertentu. *Gain* dapat dicari dengan persamaan [9]:

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.10)$$

Dimana : $U(\theta, \phi)$ = intensitas radiasi

P_{in} = daya total yang diterima

Gain juga dapat dicari menggunakan perbandingan level daya terima dan menggunakan antena referensi sebagai pembanding. Disamping itu *gain* juga dapat dinyatakan dalam satuan *decibel*.

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \quad (2.11)$$

$$G_t(dB) = P_t(dB) - P_s(dB) + G_s(dB) \quad (2.12)$$

Dimana:

G_t = *Gain* antenna *test* atau antenna yang diukur (dB)

G_s = *Gain* antenna *standart* atau antenna referensi (dB)

P_t = Level daya terima antenna yang diukur (dBm)

P_s = Level daya terima antenna referensi (dBm)

2.3.5 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitud dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitud gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitud dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibandingkan dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi. *Return loss* dapat dihitung dengan persamaan:

$$RL = 20 \log |\Gamma| dB \quad (2.13)$$

Dimana : R_L = *Return loss*

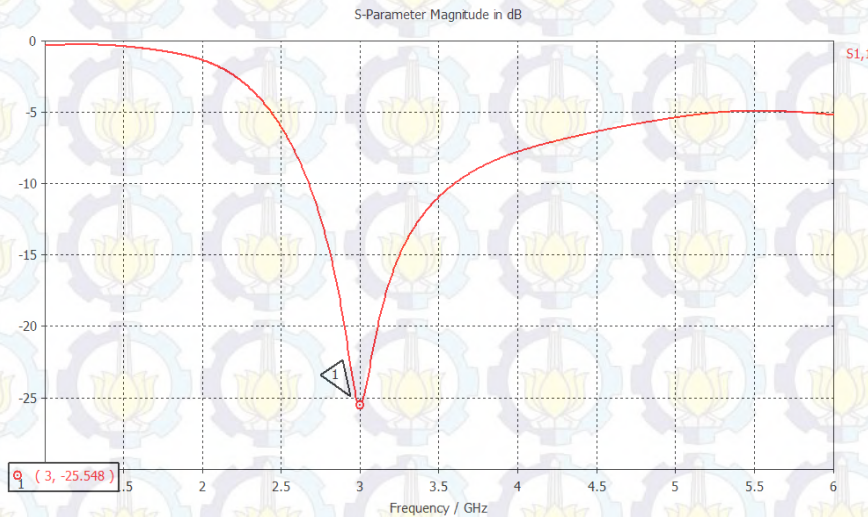
Γ = koefisien refleksi

Pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa nilai *return loss* hasil simulasi pada antenna dengan frekuensi kerja 3 GHz adalah 25.548.

2.3.6 Directivity

Directivity (pengarahan) adalah perbandingan antara rapat daya maksimum pada berkas utama terhadap rapat daya rata-rata yang diradiasikan. *Directivity* dapat dihitung dengan persamaan:

$$D = \frac{U_{max}}{U_0} \quad (2.14)$$



Gambar 2.9 Hasil Simulasi *Return Loss* pada Antena

Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antena dibagi 4π . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. *Directivity* ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.15)$$

Dimana :

D = Keterarahan (*directivity*)

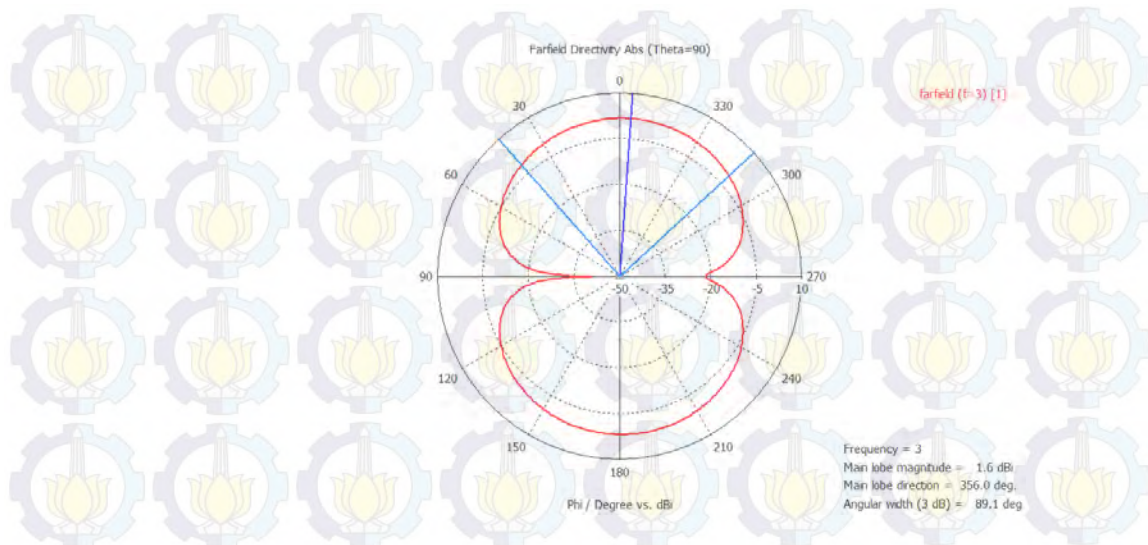
D_0 = Keterarahan maksimum

U = Intensitas radiasi

U_{max} = Intensitas radiasi maksimum

U_0 = Intensitas radiasi pada sumber *isotropic*

P_{rad} = daya total radiasi



Gambar 2.10 Hasil Simulasi *Directivity* pada Antena

2.3.7 Pola Radiasi

Kuat medan relatif yang ditransmisikan atau yang diterima oleh suatu antena dapat digambarkan secara grafis dengan pola radiasi. Pola radiasi dapat disebut sebagai pola medan (*field pattern*) apabila yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut pola daya (*power pattern*) apabila yang digambarkan *poynting vector*.

Pada sistem koordinat bola, medan listrik E dan medan magnet H memiliki komponen vektor θ dan ϕ . Sedangkan *poynting vektornya* dalam koordinat ini hanya mempunyai komponen radial saja. Besarnya komponen radial dari *poynting vektor* ini adalah [9]

$$Pr = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\eta} \quad (2.16)$$

Dengan :

$$|E| = \sqrt{E_{\theta}^2 + E_{\phi}^2} \quad (2.17)$$

(resultan dari magnitude medan listrik)

E_{θ} : komponen medan listrik θ

E_{ϕ} : komponen medan listrik ϕ

η : impedansi intrinsik ruang bebas (377Ω).

Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, pola tersebut dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau dalam bentuk relatif. Bentuk relatif adalah bentuk pola yang sudah dinormalisasikan, yaitu setiap harga dari pola radiasi tersebut telah dibandingkan dengan harga maksimumnya.

$$F_{(\theta,\phi)} = \frac{P_{(\theta,\phi)}}{E_{(\theta,\phi)\max}} \quad (2.18)$$

Untuk pola daya apabila dinyatakan dalam pola ternormalisasi, maka akan sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah dinormalisasikan. Hal ini dikarenakan *pointing* vektor hanya mempunyai komponen radiasi yang sebenarnya berbanding lurus dengan kuadrat magnitudo kuat medannya.

$$P_{(\theta,\phi)} = |F_{(\theta,\phi)}|^2 \quad (2.19)$$

Jika pola radiasi suatu antenna digambarkan dengan satuan *decibel* (dB), maka intensitas medan dalam *decibel* didefinisikan sebagai

$$F_{(\theta,\phi)\text{dB}} = 20 \log |F_{(\theta,\phi)}| \text{ (dB)} \quad (2.20)$$

Sedangkan untuk pola dayanya didalam *decibel* adalah :

$$P_{(\theta,\phi)\text{dB}} = 10 \log P_{(\theta,\phi)} = 20 \log |F_{(\theta,\phi)}| \quad (2.21)$$

Jadi dalam *decibel*, pola daya sama dengan pola medannya. Semua pola radiasi yang dibicarakan di atas adalah pola radiasi untuk kondisi medan jauh. Sedangkan pengukuran pola radiasi, faktor jarak adalah faktor yang amat penting guna memperoleh hasil pengukuran yang baik dan teliti.

Semakin jauh jarak pengukuran pola radiasi yang digunakan tentu semakin baik hasil yang akan diperoleh. Namun untuk melakukan pengukuran pola radiasi pada jarak yang benar-benar tak terhingga adalah suatu hal yang tak mungkin. Untuk keperluan pengukuran ini, ada suatu daerah di mana medan yang diradiasikan oleh antenna sudah dapat dianggap sebagai tempat medan jauh apabila

jarak antara sumber radiasi dengan antenna yang diukur memenuhi ketentuan berikut :

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.22)$$

$r \gg D \quad \text{dan} \quad r \gg \lambda$

dimana

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.23)$$

dengan:

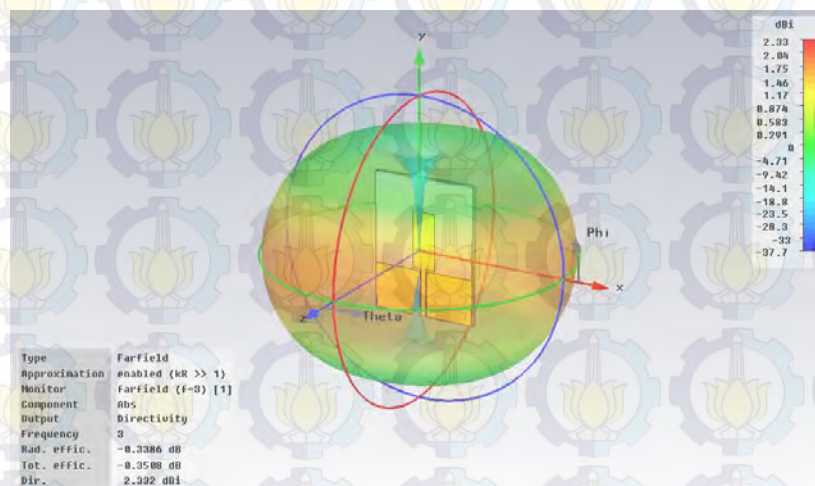
r : jarak pengukuran

D : dimensi antenna yang terpanjang

λ : panjang gelombang yang dipancarkan sumber.

c : kecepatan rambat cahaya (m/s)

f : frekuensi gelombang (Hz)



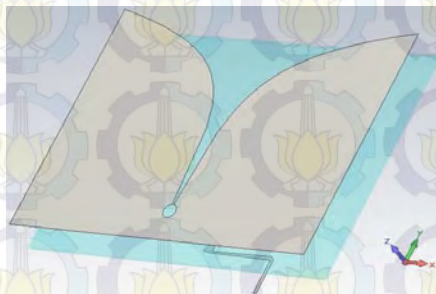
Gambar 2.11 Hasil Simulasi Pola Radiasi pada Antena

2.4 Vivaldi Antenna

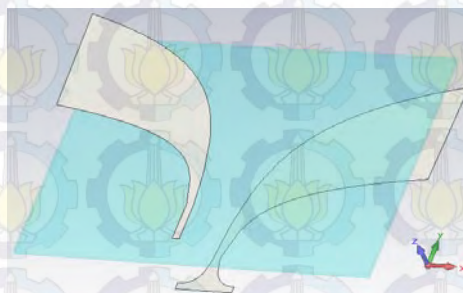
Antena *Vivaldi* pertama kali diperkenalkan oleh Gibson dalam “The *Vivaldi* aerial”. Setelah itu *Vivaldi antenna* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi antara lain pada *microwave imaging*, *wireless communications*, dan *Ground Penetrating Radar* (GPR). Saat ini antenna *Vivaldi* dapat dikategorikan menjadi

tiga, yaitu coplanar *Vivaldi antenna*, *antipodal Vivaldi antenna*, dan *balanced antipodal Vivaldi antenna*. Ketiga jenis antena *Vivaldi* tersebut menggunakan exponential tapered. Gelombang pada sisi dalam paling berperan dalam radiasi. Sehingga exponentially tapered membuat *antenna* dapat bekerja pada frekuensi yang lebih lebar. *Vivaldi* antena dapat difabrikasi menggunakan teknologi PCB sehingga relatif lebih murah. Secara teori, antena *Vivaldi* memiliki bandwidth yang sangat lebar atau bahkan tidak terbatas [10]

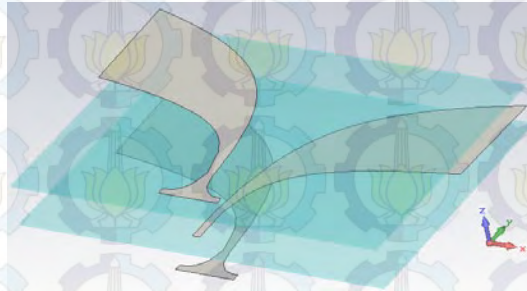
Coplanar *Vivaldi antenna* merupakan bentuk paling awal dari antena *Vivaldi* [11]. Dua buah bidang peradiasi berada di sisi yang sama pada bidang dielektrik. *Antipodal Vivaldi antenna* memiliki dua sisi. Salah satu sisi dicetak pada bagian atas sedangkan sisi lain dicetak pada bagian bawah. Antena ini dapat dicatu dengan mudah yaitu dengan menyolder konektor ke kedua sisi antena. Kelebihan utama dari *antipodal Vivaldi antenna* adalah struktur pencatuan dengan pita lebar [12]. Selain itu, *antipodal Vivaldi antenna* juga memiliki gain yang relatif konstan dan pola radiasi pada frekuensi pita lebar [13] Pada *balanced antipodal Vivaldi antenna*, salah satu sisi dielektrik ditambahkan pada bagian atas dari struktur *antipodal* dan sebuah lempeng logam dicetak pada bagian atas dari sisi yang baru ditambahkan.



Gambar 2.12 Struktur Coplanar *Vivaldi antenna* [11]



Gambar 2.13 Struktur *Antipodal Vivaldi Antenna* [11]



Gambar 2.14 Struktur *Balanced Antipodal Vivaldi Antenna* [11]

2.5 Array Antenna

Array antenna merupakan antenna yang terdiri dari dua atau beberapa buah antenna-antenna yang digabungkan pada suatu sumber atau beban yang disusun menurut konfigurasi geometris dan elektris tertentu untuk menghasilkan suatu pola radiasi yang direktif. Biasanya, hubungan setiap antenna juga berperan untuk keterarahan antenna *array*.

Medan listrik atau magnet total dari antenna *array* adalah superposisi secara vektorial medan yang dihasilkan dari masing-masing antenna. Di dalam menghasilkan suatu diagram radiasi tertentu, ke arah pancar yang diprioritaskan untuk mendapatkan direktivitas yang tinggi, diupayakan medan vektornya saling superposisi secara konstruktif, sedangkan ke arah pancar lain yang diinginkan memiliki direktivitas rendah, superposisinya diupayakan berlangsung secara destruktif. [14].

Array antenna banyak diaplikasikan pada sejumlah sistem komunikasi, seperti sistem penyiaran, komunikasi satelit, dan sistem radar. Dengan *array antenna*, maka perancangan antenna akan menjadi lebih mudah, terutama untuk merancang sebuah antenna yang menghasilkan direktivitas yang tinggi, *beamwidth* yang sempit, *side lobe* yang rendah, *beam* yang mudah diatur dengan pola antenna yang tajam. Dalam aplikasinya, sebagian besar antenna *array* menggunakan elemen yang sama; seperti antenna dipole, antenna celah, dan antenna horn atau antenna parabola, yang dicatu dengan arus atau distribusi medan yang sama. Elemen-elemen antenna *array* biasanya diatur dalam konfigurasi yang bervariasi, seperti konfigurasi satu dimensi, dimana tiap-tiap elemen disusun sepanjang garis lurus, atau konfigurasi kisi-kisi dua dimensi, sehingga elemen membentuk jaringan persegi. Bentuk pola

radiasi medan jauh yang dihasilkan dari konfigurasi *array* tersebut, dapat dilakukan dengan mengontrol amplitudo relatif dari elemen *array*.

Beberapa tujuan perancangan *array antenna* antara lain meningkatkan daya radiasi, meningkatkan *gain* dan direktivitas antena, memungkinkan antena bekerja pada band yang lebar, dan memungkinkan diterapkannya diversity. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengatur diagram radiasi dari *array* antara lain kondisi geometris *array*, jarak dari satu elemen ke elemen yang lain.

2.6 Sistem Pencatutan

Sistem pencatutan pada antena *array* pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu pencatutan seri dan pencatutan paralel. Pada umumnya, antena mikrostrip *patch* dapat dicatu secara seri oleh suatu garis pada mikrostrip yang menghubungkan *patch* yang saling berdekatan, namun jenis *array* ini memungkinkan terjadinya penurunan pengaturan pada eksitasi *array*. Karena sebagian besar pencatutan seri dari *array* menggunakan waveguide slot, maka pencatutan seri ini lebih sering ditekankan untuk resonant dan travelling wave *arrays* [15].

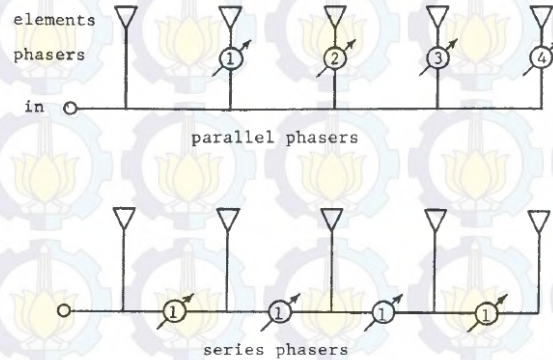
Jenis resonant *array* yang paling umum adalah waveguide dengan slot pada setengah panjang gelombang. Waveguide slot *array* menghasilkan efisiensi yang tinggi. Travelling Wave (TW) *array* seperti sebuah resonant *array* memiliki elemen peradiasi disepanjang transmission line. Jenis *array* ini dicatu pada salah satu sisi ujung dan pada sisi ujung yang lain terdapat beban. Gambar 2.15 menunjukan TW *patch array*.



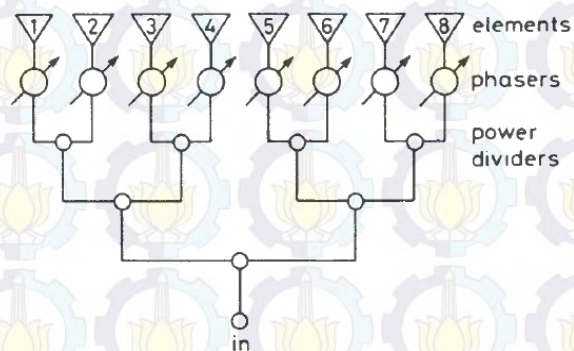
Gambar 2.15 TW *patch array* [15]

Pencatutan linear seri dapat diketahui dengan adanya *phasers* baik pada feed line ataupun pada dua elemen yang saling berdekatan. Phaser yang terdapat pada feed line merupakan jenis series *phasers*, sedangkan *phasers* yang terdapat pada dua

elemen yang saling berdekatan merupakan jenis paralel *phasers*. Susunan pencatu linear seri dapat dilihat pada Gambar 2.16.



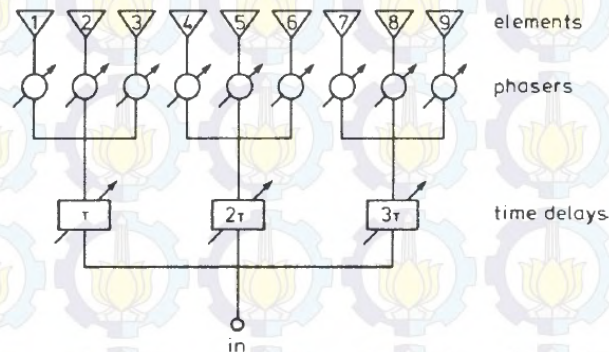
Gambar 2.16 Pencatuan linear seri [15]



Gambar 2.17 Pencatuan paralel [15]

Jenis pencatuan lain yang biasa digunakan adalah pencatuan paralel. Pada pencatuan paralel, corporate feed biasanya digunakan pada antena *dipoles*, *open-end guides*, dan *patch*. Pada jenis pencatuan ini, pencatu dibagi menjadi dua pola atau lebih, kemudian masing-masing pola dibagi lagi, dan seterusnya. Jenis pencatu ini pada umumnya biner, namun terkadang divider terdiri dari tiga atau bahkan lima jalur, bergantung pada jumlah dari elemen *array*. Gambar 2.17 menunjukkan pencatuan paralel biner yang sederhana dengan *phasers*. Untuk *array* yang relatif besar akan lebih baik jika memiliki satu atau dua level *delayers* yang ditambahkan pada *phasers* untuk masing-masing elemen. Gambar 2.18 merupakan contoh dari corporate feed.

Jenis paralel *array* yang lain adalah *array* terdistribusi. Pada jenis *array* ini, masing-masing elemen terhubung ke masing-masing modul penerima-pengirim. Modul tersebut biasanya terdiri dari *duplexers*, *circulators*, *filters*, *preamps*, *power amplifiers*, *phasers* dan *control components*. Gambar 2.19 merupakan contoh dari sebuah modul yang mencatu enam *dipoles*.



Gambar 2.18 *Phase-delay corporate Feed* [15]

2.7 Mutual Coupling

Mutual coupling pada antena merupakan energy yang diterima oleh suatu antena penerima ketika antena lain disekitarnya sedang bekerja. Pada umumnya, mutual coupling relatif dihindari karena energy yang seharusnya diradiasikan justru terserap oleh antena lain disekitarnya. Sehingga, mutual coupling mengurangi efisiensi dan performansi dari antena baik pada antena pemancar maupun antena penerima. Jarak antarelemen yang lebar dapat meminimalisir efek mutual coupling, beam yang lebih sempit, namun menghasilkan grating lobe. Untuk meminimalisir efek grating lobe, maka jarak antarelemen maksimum harus memenuhi persamaan

$$d_{max} < \frac{\lambda}{1 + |\cos \theta_0|}$$

Dimana: d_{max} = jarak antarelemen maksimum (m)

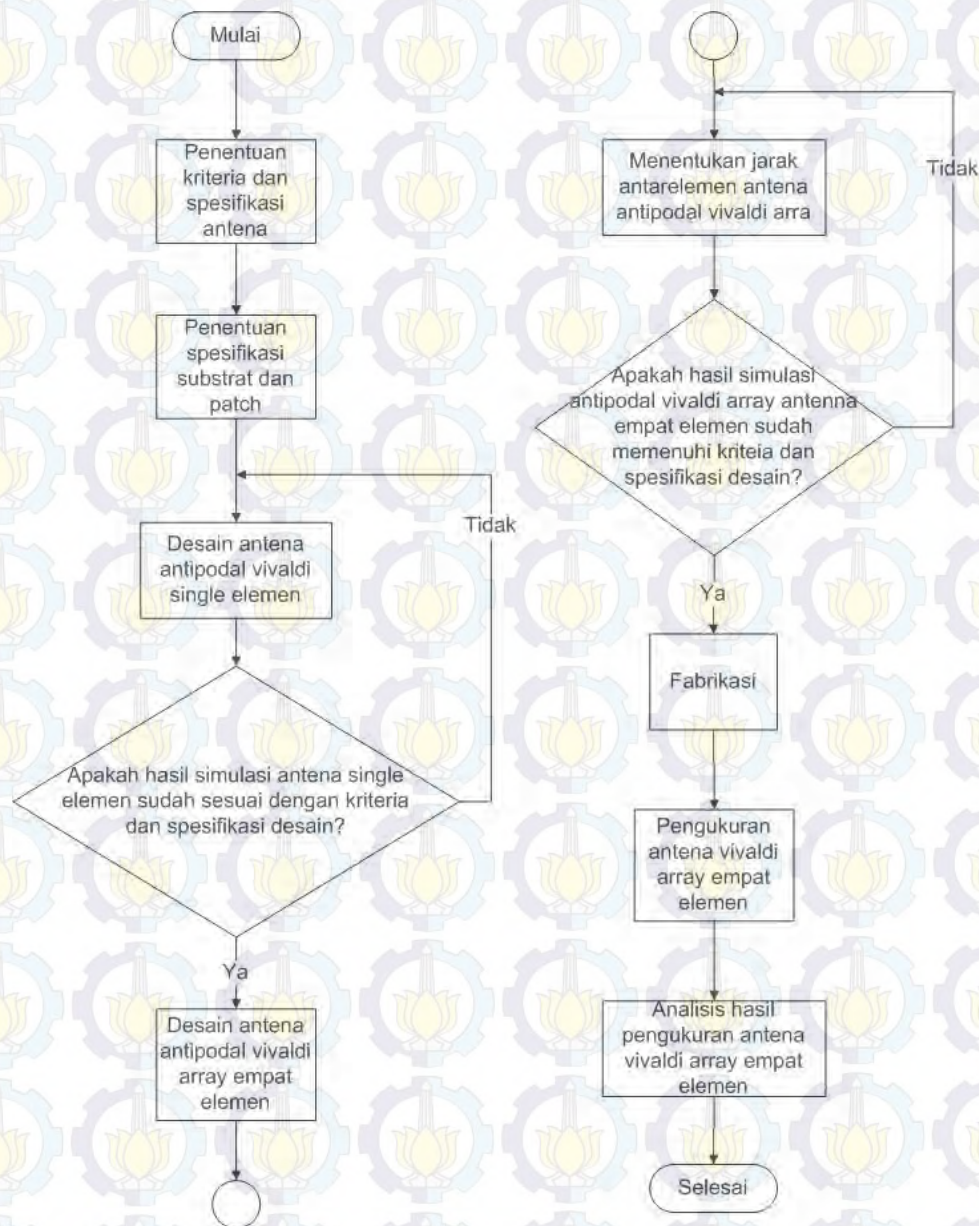
λ = panjang gelombang (m)

θ_0 = sudut keterarahan beam ($^\circ$)

BAB III

PERANCANGAN DAN SIMULASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan implementasi dari antenna *antipodal Vivaldi Array*. Tahap perancangan tersebut akan dijelaskan pada flowchart Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart perancangan antenna *antipodal Vivaldi Array* empat elemen

3.1 Penentuan Kriteria dan Spesifikasi Desain Antena

Beberapa kriteria desain yang harus dipenuhi pada perancangan antena *antipodal* Vivaldi sebelum disimulasikan menggunakan Computer Simulation Technology (CST) 2011 yaitu *return loss*, *bandwidth*, *gain*, dan VSWR antena. Kriteria desain tersebut dijelaskan pada tabel 3.1.

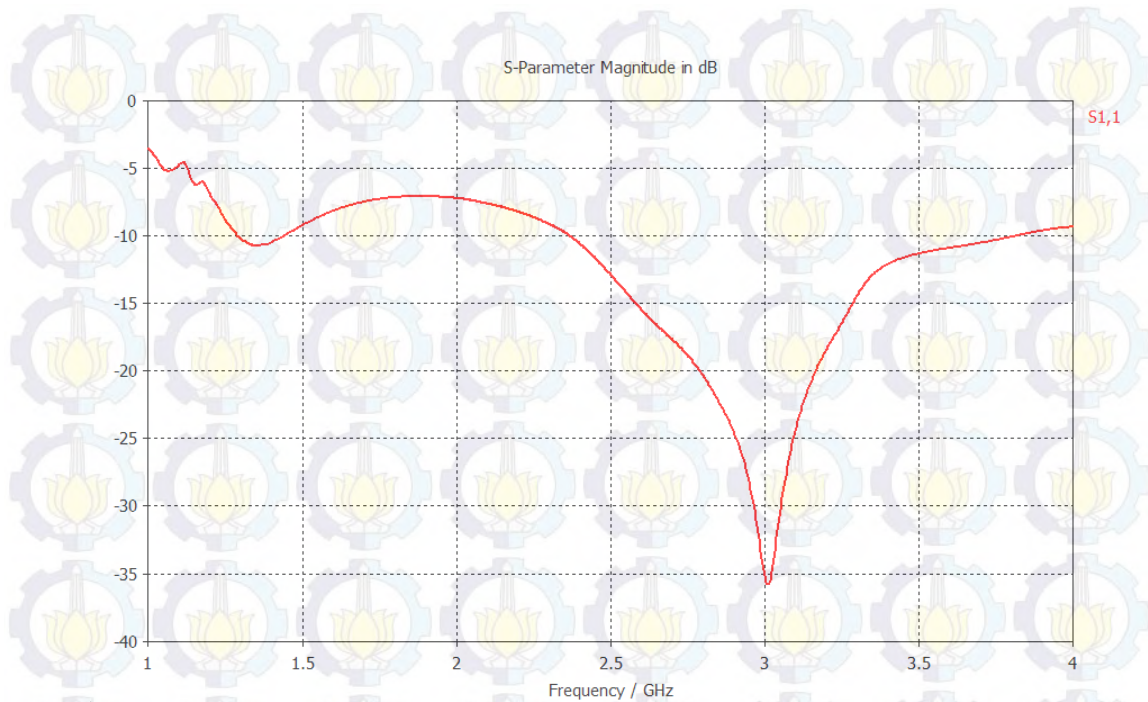
Tabel 3.1 Kriteria Desain Antena

Parameter	Nilai
<i>Return loss</i>	< - 10 dB
<i>Bandwidth</i>	UWB (<i>bandwidth</i> fraksional >20%)
<i>Gain</i>	10 dB
VSWR	< 2

Selain menentukan kriteria desain, pada perancangan ini juga harus ditentukan spesifikasi substrat dan *patch* yang akan digunakan dalam perancangan, simulasi, maupun implementasi antena. Pada tahap ini, telah disimulasikan antena antipodal Vivaldi dengan dimensi yang sama namun menggunakan substrat yang berbeda, yaitu FR4 dan RO 4360. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh hasil simulasi *return loss* antena dengan menggunakan substrat FR4 seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa antena dengan substrat FR4 bekerja pada rentang frekuensi 2.5-3.5 GHz, sehingga tidak memenuhi kriteria dan spesifikasi antena. Spesifikasi substrat dan *patch* antena yang akan digunakan, dijelaskan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat dan *Patch* Antena

Frekuensi	2-2.5 GHz
Jenis Substrat	RO 4360
Jenis <i>Patch</i>	Tembaga
Konstanta Dielektrik	6.15
Tebal Substrat	1.6 mm



Gambar 3.2 Hasil Simulasi Return Loss Antena Antipodal Vivaldi empat elemen dengan menggunakan substrat FR4

3.2 Desain Antena *Antipodal Vivaldi* Elemen tunggal

Antena *antipodal Vivaldi* merupakan suatu jenis antena yang terdiri dari dua sisi peradiasi yang disusun menggunakan dua persamaan eksponensial yaitu persamaan eksponensial untuk *inner edge* dan *outer edge*. Berikut merupakan persamaan eksponensial untuk kedua sisi bidang peradiasi pada antena *antipodal Vivaldi*:

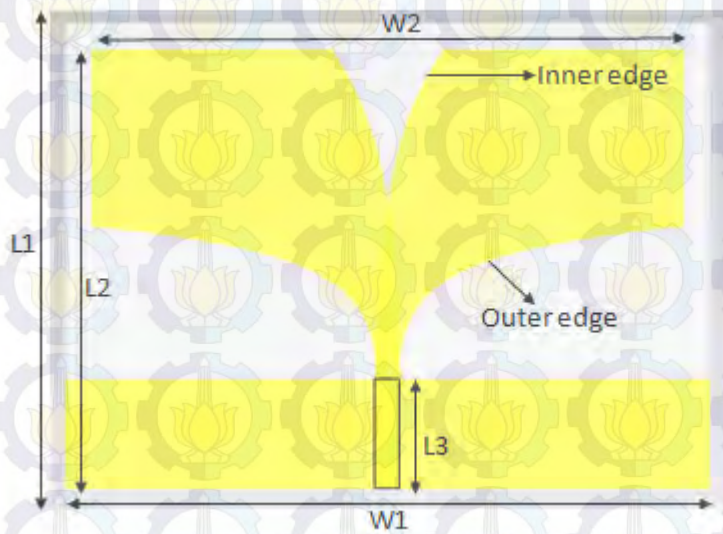
$$\begin{aligned} X_i &= \pm C_s \cdot \exp(K_s Y) \mp (C_s + 0.5 \cdot C_w) \\ X_o &= \pm C_w \cdot \exp(K_w Y^{sf}) \mp (C_s + 0.5 \cdot C_w) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Dimana:

X_i = Jarak dari garis tengah slot ke *inner edge*

X_o = Jarak dari garis tengah slot ke *outer edge*

Sehingga dimensi antena elemen tunggal *antipodal Vivaldi* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

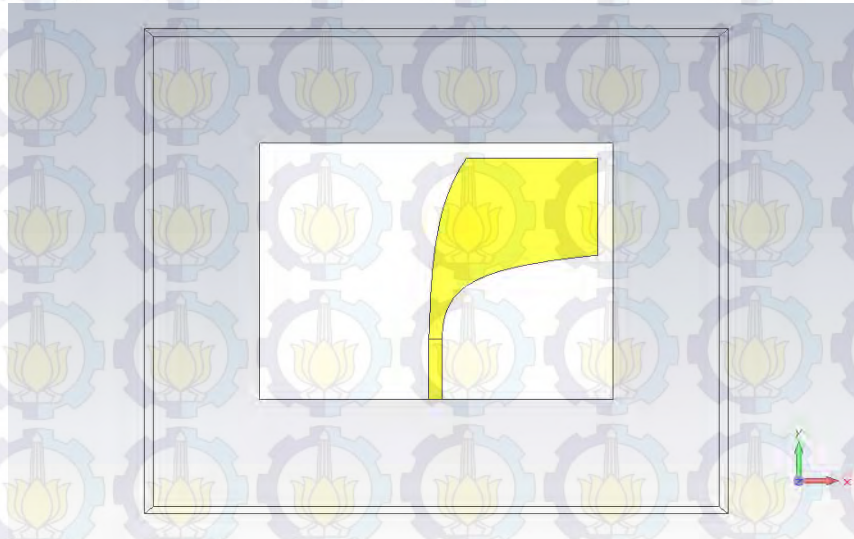


Gambar 3.3 Dimensi antenna *antipodal* Vivaldi elemen tunggal

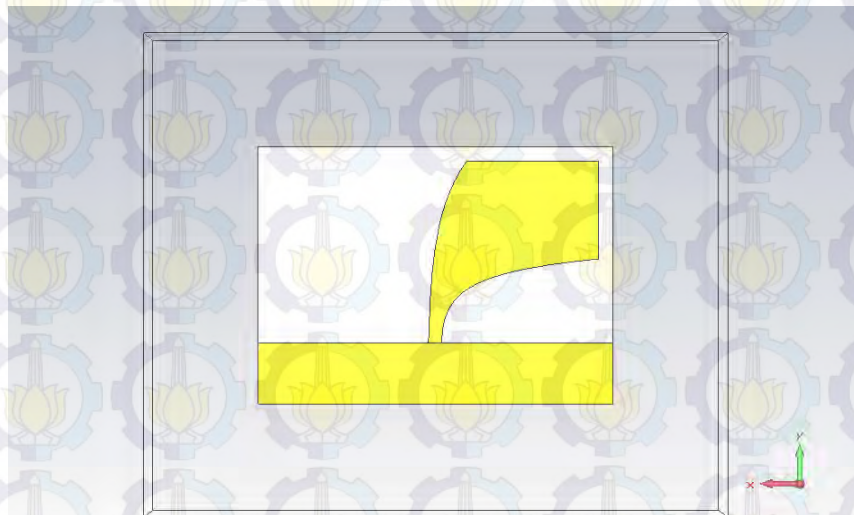
Tabel 3.3 Nilai parameter dimensi antenna elemen tunggal

Parameter	Nilai (mm)
L1	87.2
L2	82.2
L3	20.55
W1	120.3
W2	110.3
Cs	0.5
Cw	5
h (tebal substrat)	1.6
Ks	0.12
Kw	0.003
sf	2
t (tebal patch)	0.035

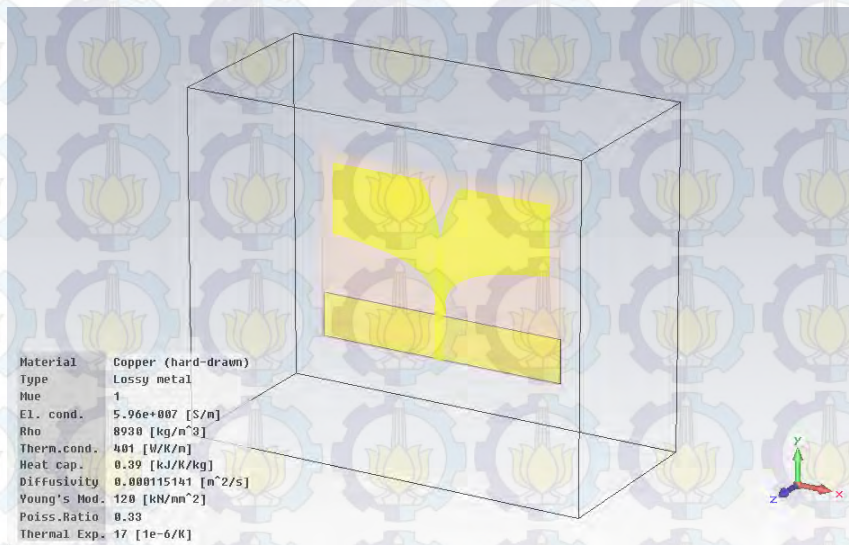
Hasil desain antenna elemen tunggal dapat dilihat pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.7. Antena elemen tunggal tersebut memiliki dimensi sebesar 120.3 mm x 87.2 mm. Antena yang didesain tersiri dari substrat, *patch*, dan *ground*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *CST Microwave Studio*.



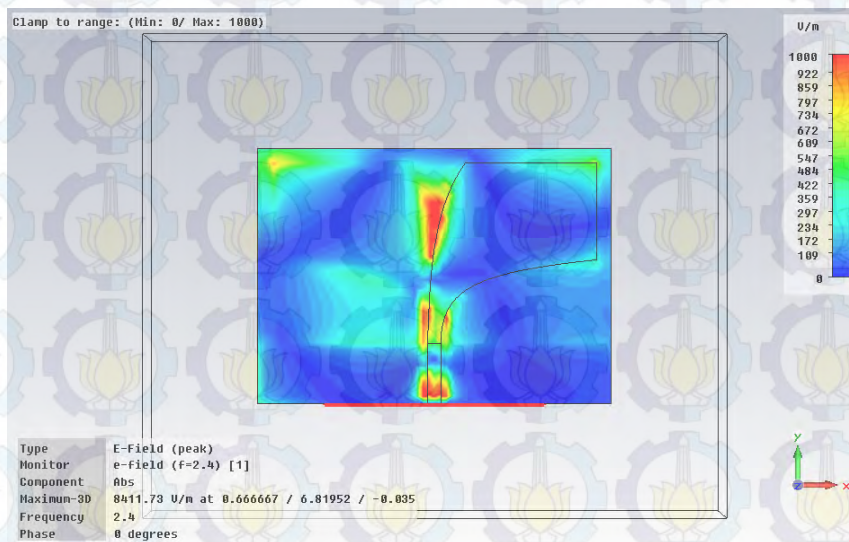
Gambar 3.4 Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal tampak depan



Gambar 3.5 Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal tampak belakang



Gambar 3.6 Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal tampak perspektif



Gambar 3.7 Simulasi Medan E pada antena antipodal Vivaldi elemen tunggal

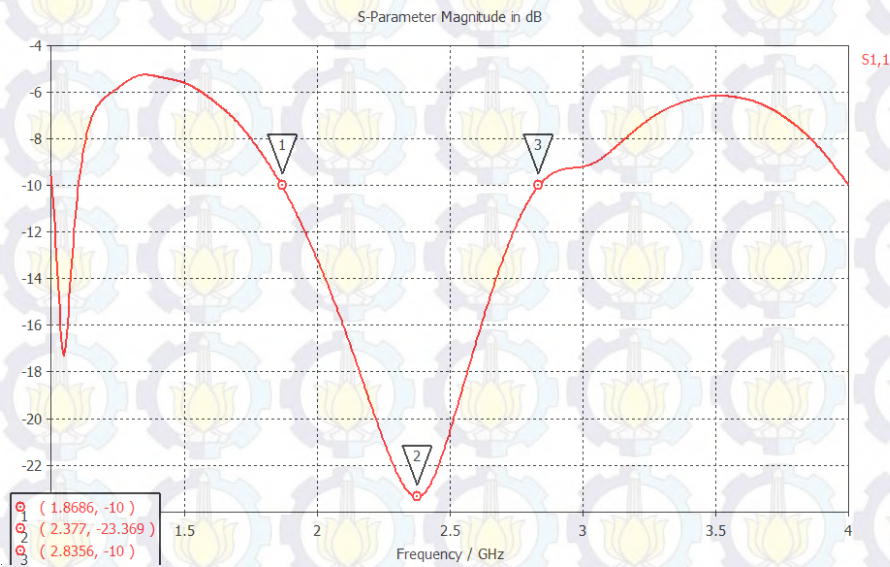
Hasil simulasi *return loss* dari desain awal antena dapat dilihat pada Gambar 3.8. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada simulasi hasil desain antena elemen tunggalt bekerja pada rentang frekuensi 1.86 sampai 2.83 GHz dengan frekuensi tengah pada 2.377 GHz dan *return loss* sebesar -23.369 dB. Maka besarnya *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan:

$$BW = 2.83 \text{ GHz} - 1.86 \text{ GHz}$$

$$BW = 0.97 \text{ GHz}$$

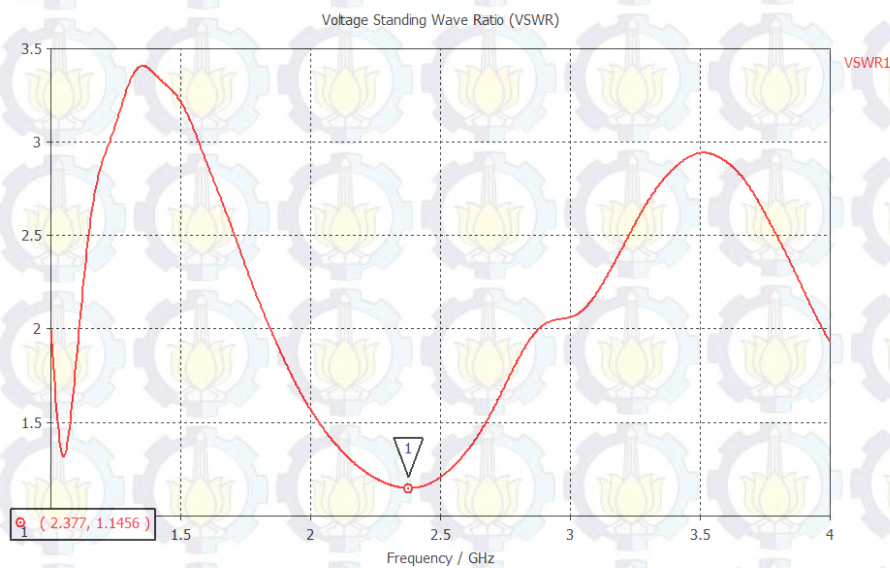
$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.83 - 1.86)}{2.83 + 1.86} \times 100\%$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = 41.36\%$$



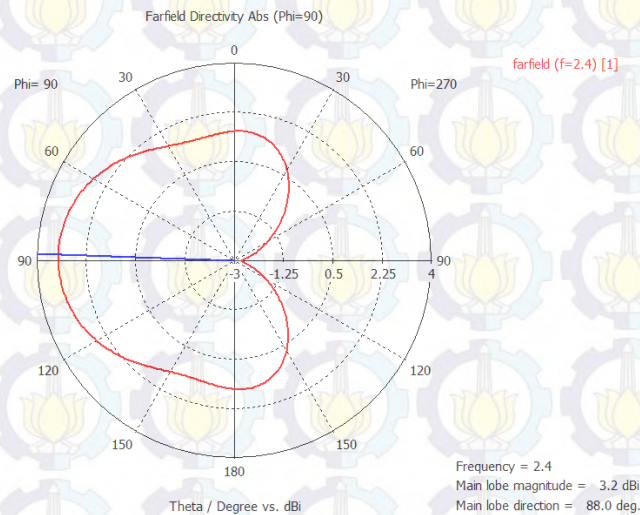
Gambar 3.8 Hasil simulasi *return loss* Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal

Hasil simulasi VSWR ditunjukkan pada Gambar 3.9. Berdasarkan hasil simulasi, diketahui nilai VSWR sebesar 1.1456 pada frekuensi tengah antena yaitu 2.377 GHz.

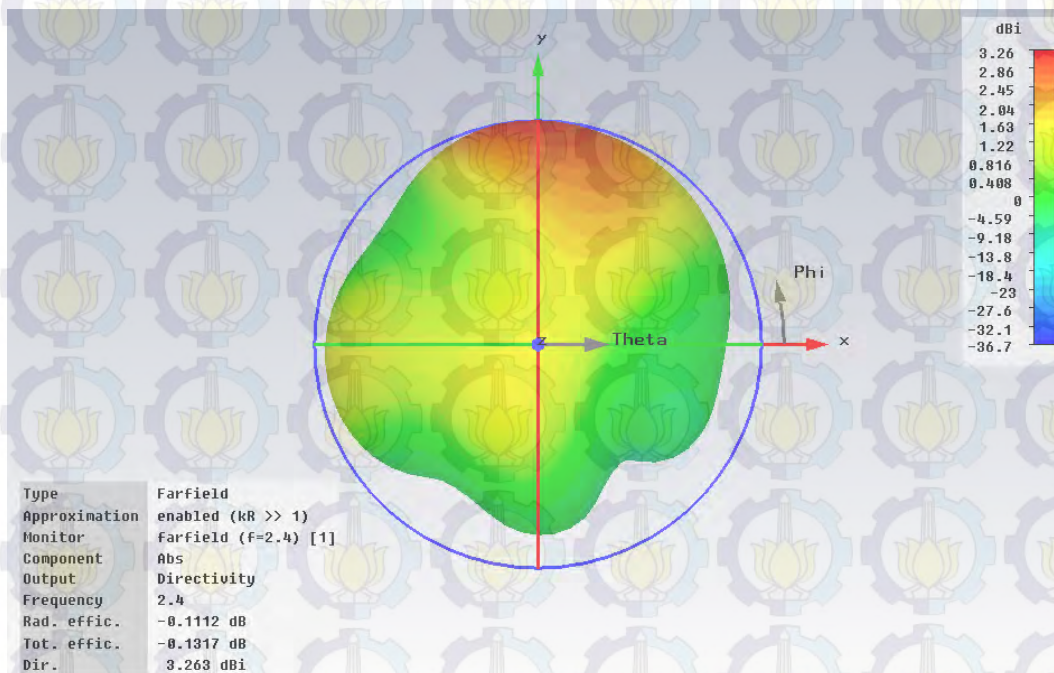


Gambar 3.9 Hasil simulasi VSWR Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal

Dari Gambar 3.10 ditunjukkan bahwa hasil simulasi pola radiasi dan *gain* dari antenna elemen tunggal yang dirancang memiliki pola radiasi direksional dengan *main lobe direction* sebesar 88° dan *gain* sebesar 3.2 dBi.



Gambar 3.10 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal

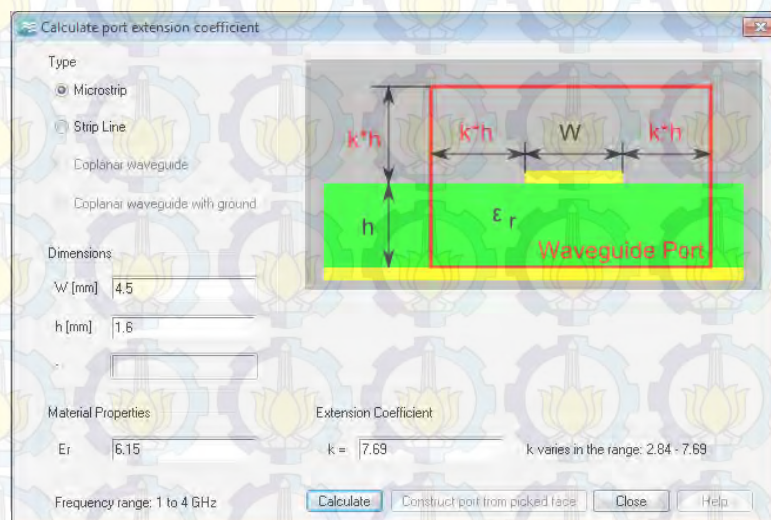


Gambar 3.11 Hasil simulasi tiga dimensi pola radiasi dan *gain* Antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal

3.3 Desain Antena *Antipodal Vivaldi Array* Empat Elemen

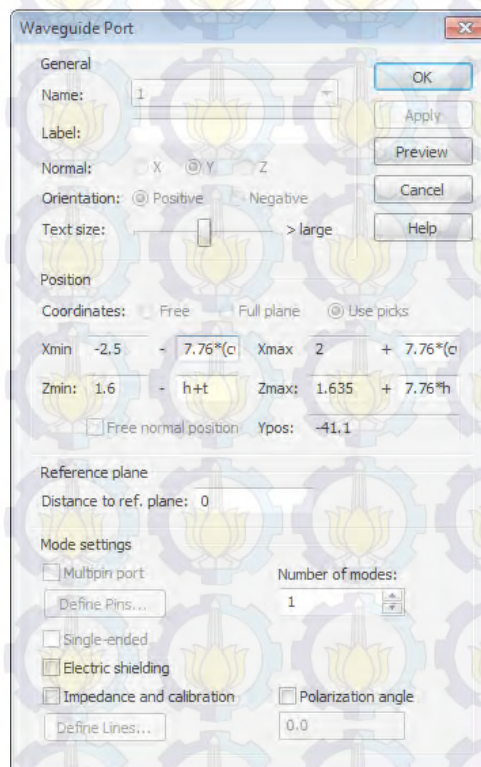
Setelah mendesain antena *antipodal* Vivaldi elemen tunggal yang sesuai dengan kriteria desain, maka dilanjutkan dengan mendesain antena *antipodal Vivaldi Array* yang terdiri dari empat elemen. Tahap perancangan ini dimulai dari menentukan jenis konfigurasi *array* yang paling sesuai agar performansi antena nantinya sesuai dengan kriteria desain dan penentuan jarak antarelemen untuk meminimalkan efek *mutual coupling* sehingga performansi antena dapat lebih optimum.

Untuk memperoleh antena yang sesuai dengan kriteria dan spesifikasi desain yang telah ditentukan, maka perlu juga didesain sistem pencatutan pada antena *antipodal Vivaldi array* empat elemen. Yang pertama ditentukan adalah dimensi port yang digunakan dalam simulasi. Penentuan dimensi port dalam proses simulasi diperlukan untuk mensimulasikan pencatu yang akan digunakan pada proses pengukuran. Untuk menentukan dimensi port, dapat dihitung melalui *CST Microwave Studio*. Gambar 3.12 menunjukkan proses kalkulasi dimensi port. Pada proses tersebut, harus ditentukan terlebih dahulu lebar pencatu (W) dan tebal substrat (h) yang masing-masing sebesar 4.5 dan 1.6 mm. Karena substrat yang akan digunakan adalah RO4360 maka konstanta dielektrik ditentukan sebesar 6.15. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut, maka diperoleh dimensi port yang akan dirancang menggunakan koefisien perkalian 7.69.



Gambar 3.12 Kalkulasi koefisien dimensi port

Setelah diketahui koefisien perkalian untuk dimensi port, maka ditentukan besarnya port yang akan disimulasikan. Gambar 3.13 menunjukkan dimensi port yang akan digunakan. Pada gambar tersebut digunakan koefisien perkalian sebesar 7.76. Maka dengan menggunakan koefisien perkalian tersebut, dapat disimulasikan port dengan dimensi sebesar $X_{min} = -2.5-7.76(cw-cs)$, $X_{maks} = 2+7.76(cw-cs)$, $Z_{min} = 1.6-(h+t)$, dan $Z_{maks} = 1.635(7.76h)$



Gambar 3.13 Dimensi port antenna antipodal Vivaldi

Setelah ditentukan dimensi port dari antenna yang akan disimulasikan maka perlu juga ditentukan proses pencatutan yang akan digunakan dalam pengukuran antenna antipodal array empat elemen. Gambar 3.14 menunjukkan perbandingan antara impedansi masukan dan impedansi beban. Agar tidak terjadi pergeseran fase, maka besarnya impedansi masukan harus sama dengan impedansi beban. Dalam penelitian ini akan digunakan konektor *SMA Female* dengan impedansi 50Ω . Untuk menghubungkan konektor ke alat ukur digunakan kabel coaxial dengan impedansi 50Ω dan panjang 2λ atau 27 cm. Untuk memastikan bahwa panjang kabel sebesar 27 cm tidak mengakibatkan perubahan fase, maka perlu dihitung

dengan menggunakan konsep perbandingan impedansi masukan dan beban seperti berikut.



Gambar 3.14 Perbandingan impedansi input dan impedansi beban

Untuk menghitung besarnya impedansi beban agar sesuai dengan impedansi masukan, maka digunakan persamaan:

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos(\beta d) + j Z_{in} \sin(\beta d)}{Z_{in} \cos(\beta d) + j Z_L \sin(\beta d)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d\right) + j Z_{in} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} d\right)}{Z_{in} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d\right) + j Z_L \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} d\right)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} (2\lambda)\right) + j Z_{in} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} (2\lambda)\right)}{Z_{in} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} (2\lambda)\right) + j Z_L \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} (d)\right)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos(4\pi) + j Z_{in} \sin(4\pi)}{Z_{in} \cos(4\pi) + j Z_L \sin(4\pi)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos(4\pi) + j Z_{in} \sin(4\pi)}{Z_{in} \cos(4\pi) + j Z_L \sin(4\pi)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_L \cos(4\pi) + j Z_{in} (0)}{Z_{in} \cos(4\pi) + j Z_L (0)} Z_{in}$$

$$Z_{in} = Z_L$$

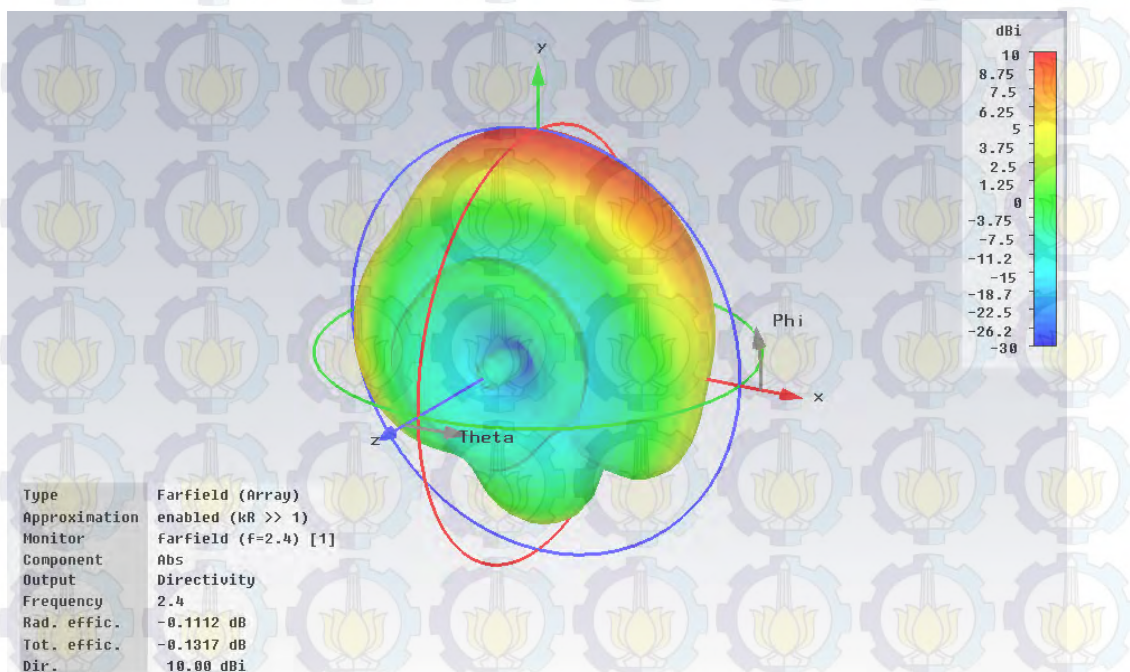
Dimana :

Z_{in} = impedansi masukan

Z_L = impedansi beban

Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa jika kabel yang digunakan sepanjang 2λ tidak akan menyebabkan pergeseran fase.

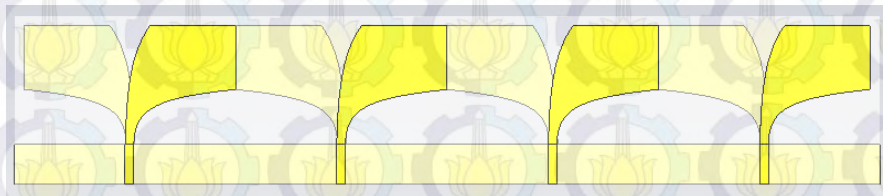
Setelah menentukan dimensi port dari antenna yang akan disimulasikan dan panjang kabel yang akan digunakan dalam proses pengukuran, maka perlu dilakukan simulasi untuk mengetahui pola radiasi ideal dari antenna antipodal Vivaldi array empat elemen. Pola radiasi tersebut diperoleh dengan mengalikan pola radiasi dari antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal dengan array factor dari antenna yang akan dirancang. Dalam software CST Microwave Studio pola radiasi tersebut dapat diperoleh dengan memasukkan jumlah elemen dari antenna array, bidang array yang akan dirancang dan jarak antarelelemen yang akan digunakan. Sehingga pola radiasi ideal dari antenna antipodal Vivaldi empat elemen tanpa dilakukan optimasi pada hasil simulasi dengan jarak antarelelemen sebesar 6.6875 cm dapat dilihat pada Gambar 3.15. Dari gambar tersebut, diketahui bahwa hasil simulasi gain tanpa optimasi dari antenna antipodal Vivaldi array empat elemen adalah sebesar 10 dBi.



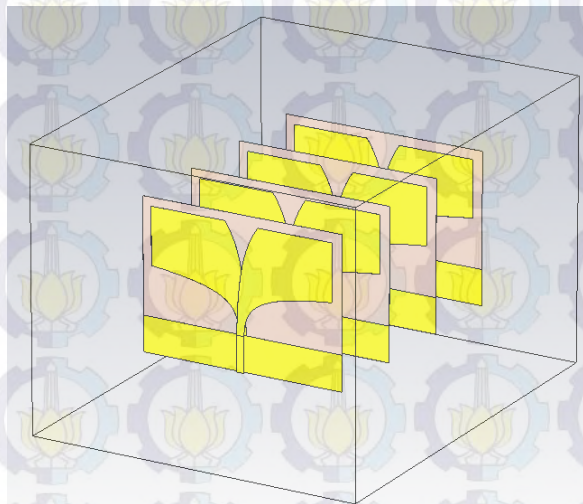
Gambar 3.15 Pola radiasi hasil perkalian antenna antipodal vivadi elemen tunggal dan array factor

3.3.1 Desain Konfigurasi Antena Vivaldi Array Empat Elemen

Sebelum menentukan konfigurasi untuk antena *antipodal* Vivaldi Array empat elemen yang akan dirancang, terlebih dahulu dilakukan pemilihan konfigurasi dan dilanjutkan dengan simulasi untuk mengetahui jenis konfigurasi antena Array yang akan digunakan untuk memoptimalkan performansi antena. Telah dilakukan simulasi perbandingan antena Array dengan menggunakan konfigurasi planar dan *H-Plane* [24] [25]. Berdasarkan hasil perbandingan terhadap performansi antena dari kedua konfigurasi tersebut, diketahui bahwa konfigurasi *H-Plane* menghasilkan performansi antena yang lebih sesuai dengan kriteria desain yang telah ditentukan. Gambar 3.16 menunjukkan antena *antipodal* Vivaldi Array yang disusun dengan menggunakan konfigurasi planar, sedangkan Gambar 3.17 menunjukkan konfigurasi *H-Plane*



Gambar 3.16 Antena *Antipodal* Vivaldi Array dengan konfigurasi planar



Gambar 3.17 Antena *Antipodal* Vivaldi Array dengan konfigurasi *H-Plane*

3.3.2 Desain Awal Jarak Antarelemen Antena *Antipodal Vivaldi Array* Empat Elemen

Untuk mendesain antena *array* empat elemen, perlu ditentukan jarak antar elemen yang paling sesuai untuk mengurangi efek *mutual coupling*. Jarak antarelemen ditentukan dengan persamaan:

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (3.1)$$

Dimana: d = jarak antarelemen (m)

λ = panjang gelombang pada frekuensi tertinggi (m)

Dengan:

$$\lambda = \frac{c}{fh} \quad (3.2)$$

Dimana: λ = panjang gelombang pada frekuensi tertinggi (m)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

fh = frekuensi kerja tertinggi antena (Hz)

Dengan menggunakan persamaan sehingga didapatkan panjang gelombang pada frekuensi kerja tertinggi adalah:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.8 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0.107 \text{ m} = 10.7 \text{ cm}$$

Maka persamaan awal jarak antarelemen adalah:

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

$$d = \frac{10.7 \text{ cm}}{2} = 5.35 \text{ cm}$$

3.4 Analisis Jarak Antarelemen pada Antena *Antipodal Vivaldi Array* Empat Elemen

Pada bagian ini akan dibahas mengenai analisis jarak antarelemen pada antenna *Vivaldi array* empat elemen. Setelah diperoleh panjang gelombang dan jarak antarelemen (d) dari hasil perhitungan sebelumnya, maka selanjutnya akan dilakukan analisis jarak antarelemen dengan iterasi pada simulasi antenna *antipodal Vivaldi Array* empat elemen dengan jarak antarelemen yang berbeda-beda. Jarak antarelemen yang dipilih untuk disimulasikan adalah $4d/8$, $6d/8$, $8d/8$, $10d/8$, dan $12d/8$.

Dari hasil iterasi simulasi tersebut akan didapatkan beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur performansi masing-masing antenna yang disimulasikan, antara lain *return loss*, pola radiasi, dan *gain*. Iterasi simulasi dilakukan untuk mengetahui jarak antarelemen yang menghasilkan efek *mutual coupling* paling minimum sehingga dapat mengoptimalkan kinerja antenna yang dirancang.

3.4.1 Antena *Antipodal Vivaldi Array* Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $4d/8$

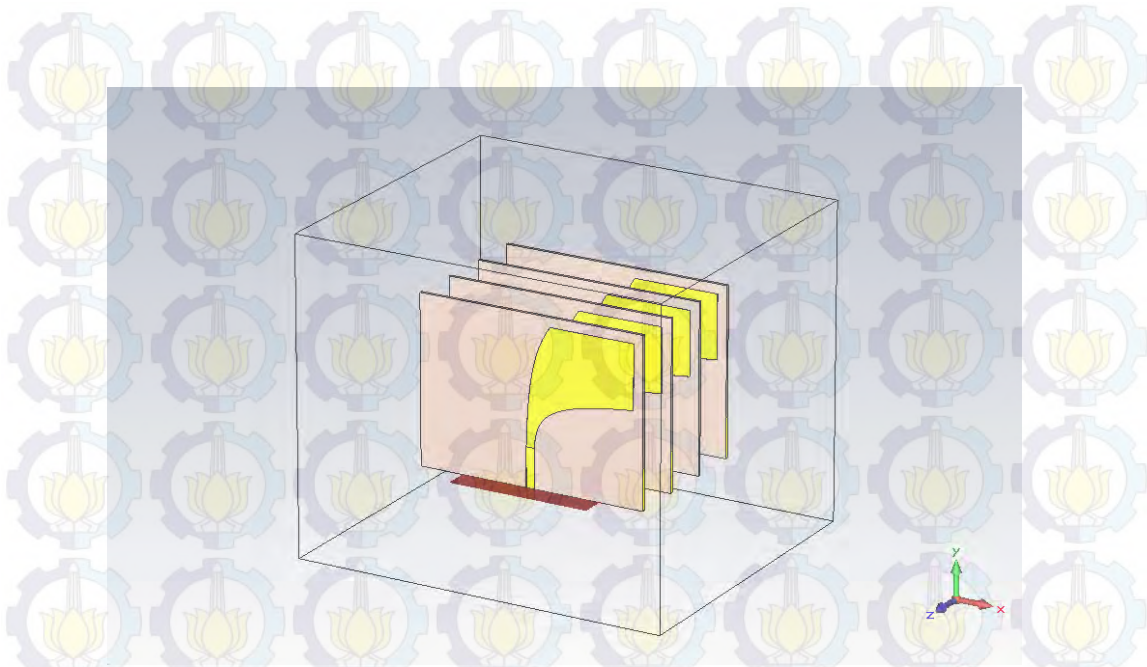
Pada bagian ini jarak antarelemen untuk antenna *antipodal Vivaldi* empat elemen ditentukan sebesar $4d/8$. Maka jarak antarelemen antenna tersebut sebesar:

$$\text{Jarak antarelemen} = \frac{4d}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = \frac{4 \times 5.35 \text{ cm}}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = 2.675 \text{ cm}$$

Setelah menghitung besarnya jarak antarelemen pada antenna *array*, maka simulasi dari desain antenna tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.18 . Antena yang dirancang memiliki jarak antarelemen sebesar 2.675 cm.



Gambar 3.18 Simulasi antenna *antipodal* Vivaldi array empat elemen dengan jarak antarelelemen $4d/8$

Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dapat dilihat pada Gambar 3.19. Pada gambar tersebut, antenna yang dirancang bekerja pada rentang frekuensi 1.6904 sampai 2.874 GHz dan frekuensi tengah pada 2.296 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -19.398 dB. Besarnya *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan:

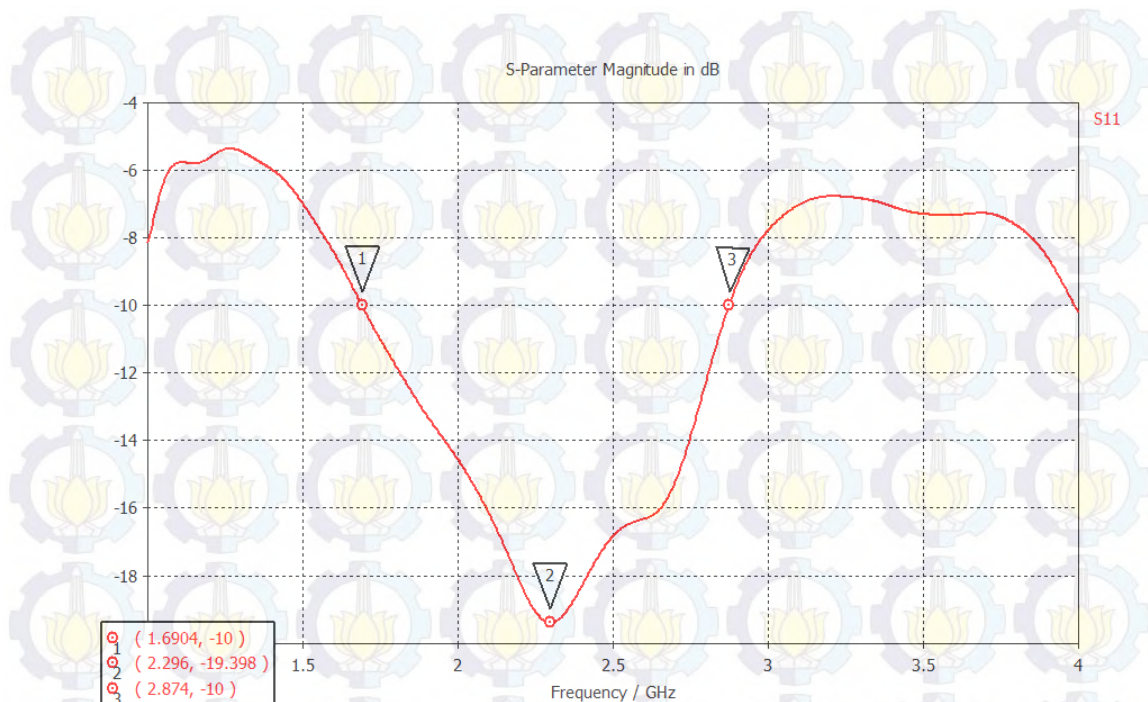
$$BW = 2.874 \text{ GHz} - 1.6904 \text{ GHz}$$

$$BW = 1.1836 \text{ GHz}$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.874 - 1.6904)}{2.874 + 1.6904} \times 100\%$$

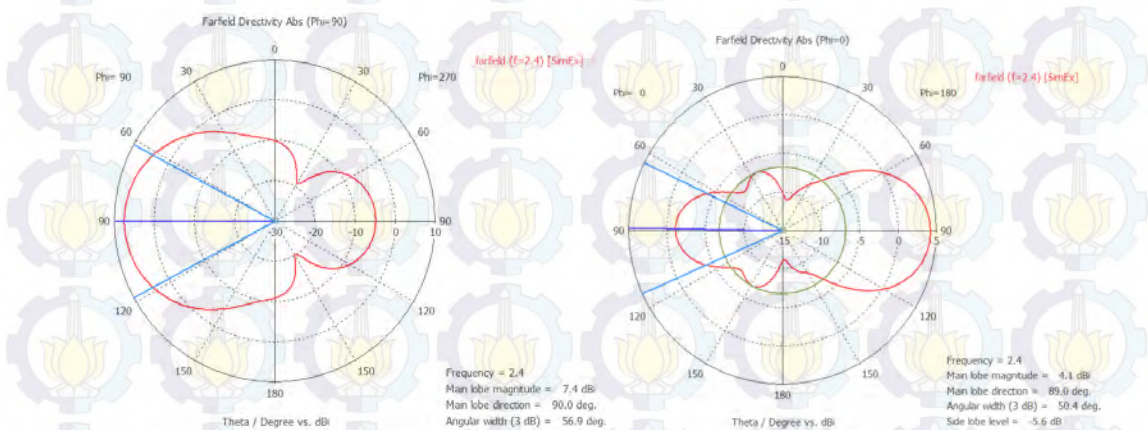
$$\text{Bandwidth fraksional} = 51.86\%$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa *bandwidth* dari antenna tersebut adalah sebesar 1.1836 GHz atau 51.55% dan *bandwidth* fraksional 51.86%.

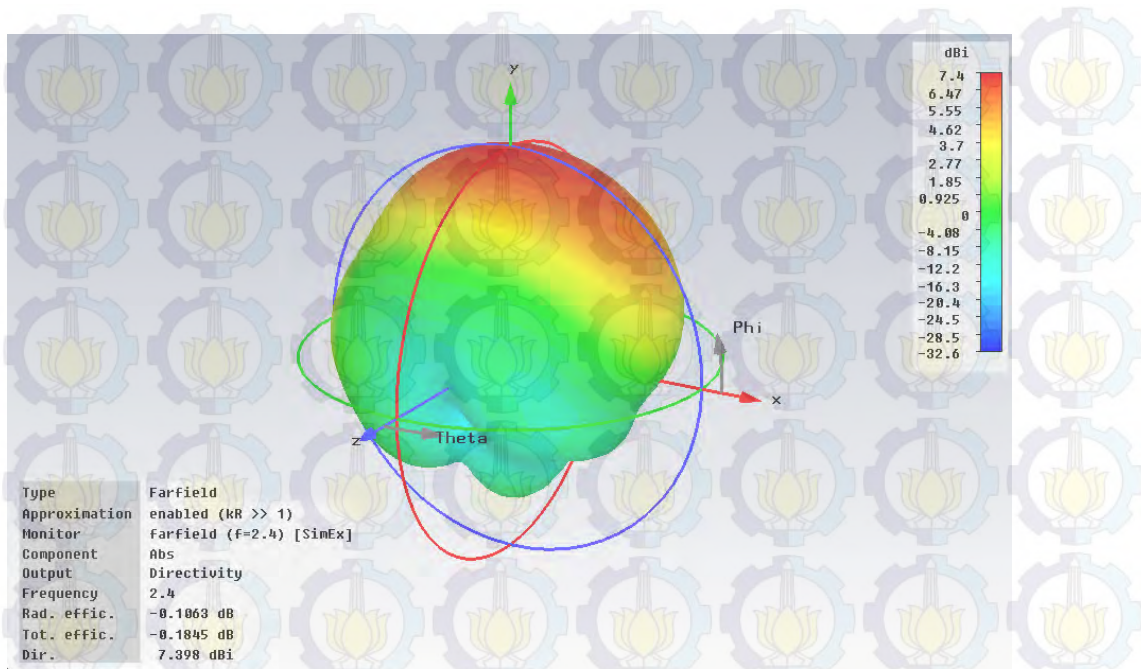


Gambar 3.19 Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $4d/8$

Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* dapat dilihat pada Gambar 3.20. dan Gambar 3.21. Pada kedua gambar tersebut, terlihat bahwa antenna yang disimulasikan memiliki pola radiasi dengan *main lobe direction* sebesar 90° dan *gain* sebesar 7.4 dBi.



Gambar 3.20 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $4d/8$



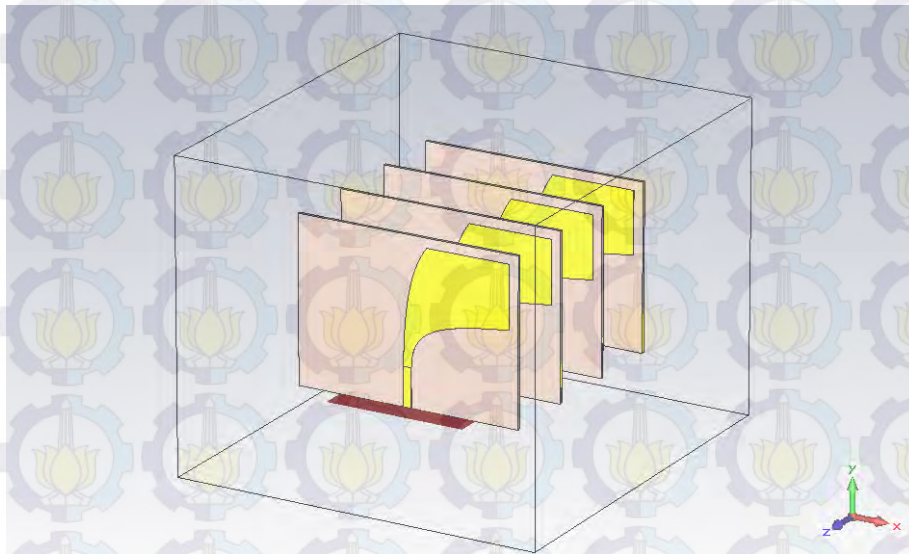
Gambar 3.21 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* tiga dimensi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $4d/8$

3.4.2 Antena *Antipodal* Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelelemen $6d/8$

Pada bagian ini jarak antarelelemen untuk antenna *antipodal* Vivaldi empat elemen ditentukan sebesar $6d/8$. Maka besarnya jarak antarelelemen antenna tersebut adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak antarelelemen} &= \frac{6d}{8} \\ \text{Jarak antarelelemen} &= \frac{6 \times 5.35 \text{ cm}}{8} \\ \text{Jarak antarelelemen} &= 3.657 \text{ cm} \end{aligned}$$

Simulasi antenna Vivaldi Array empat elemen dapat dilihat pada Gambar 3.22. Pada gambar tersebut, antenna yang disimulasikan memiliki jarak antarelelemen sebesar 3.657 cm.



Gambar 3.22 Simulasi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$

Hasil simulasi *return loss* dari antenna yang disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 3.23. Pada gambar tersebut, antenna yang disimulasikan bekerja pada rentang frekuensi 1.791 GHz sampai 2.8387 GHz dan frekuensi tengah pada 2.29 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -26.994 dB. Besarnya *bandwidth* dihitung dengan persamaan:

$$BW = 2.8387 \text{ GHz} - 1.791 \text{ GHz}$$

$$BW = 1.0477 \text{ GHz}$$

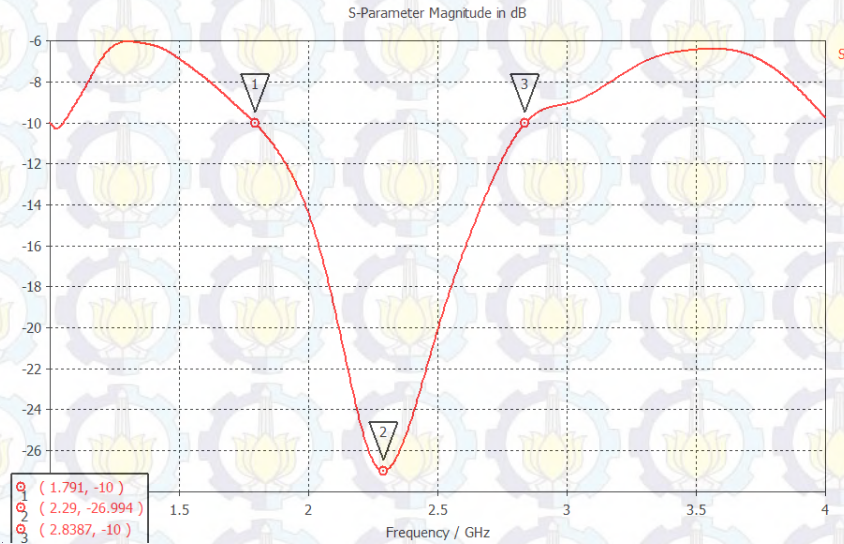
$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.8387 - 1.791)}{2.8387 + 1.791} \times 100\%$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = 45.26\%$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa antenna yang disimulasikan memiliki *bandwidth* sebesar 1.0447 GHz atau 45.75% dengan *bandwidth* fraksional sebesar 45.26%.

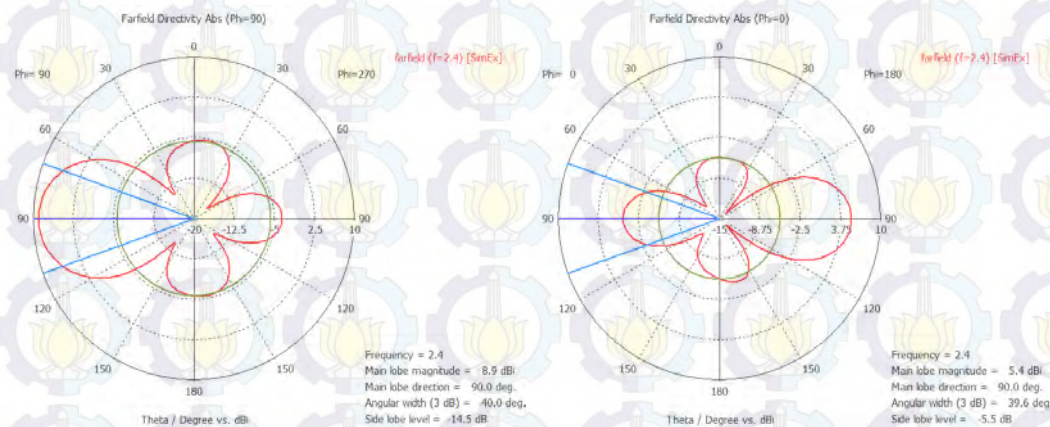
Dari hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *return loss* pada antenna *antipodal* Vivaldi empat elemen dengan jarak antarelemen sebesar $6d/8$ lebih baik dibandingkan dengan dengan jarak antarelemen sebesar $4d/8$. Namun

bandwidth yang dihasilkan pada jarak $6d/8$ ini lebih sempit dibandingkan antenna dengan jarak antarelemen sebesar $4d/8$.

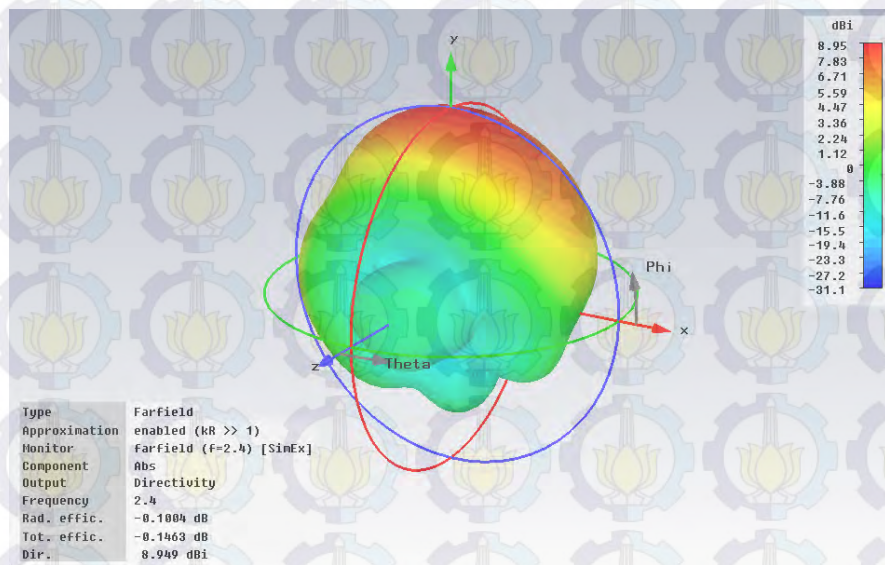


Gambar 3.23 Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal Vivaldi Array* empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$

Dengan jarak antarelemen sebesar $6d/8$, maka hasil simulasi pola radiasi dan *gain* dapat dilihat pada Gambar 3.24 dan 3.25. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa antenna yang disimulasikan memiliki pola radiasi dengan *main lobe direction* sebesar 90^0 dan *gain* 8.9 dBi.



Gambar 3.24 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* antenna *antipodal Vivaldi Array* empat elemen dengan jarak antarelemen $6d/8$



Gambar 3.25 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* tiga dimensi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen 6d/8

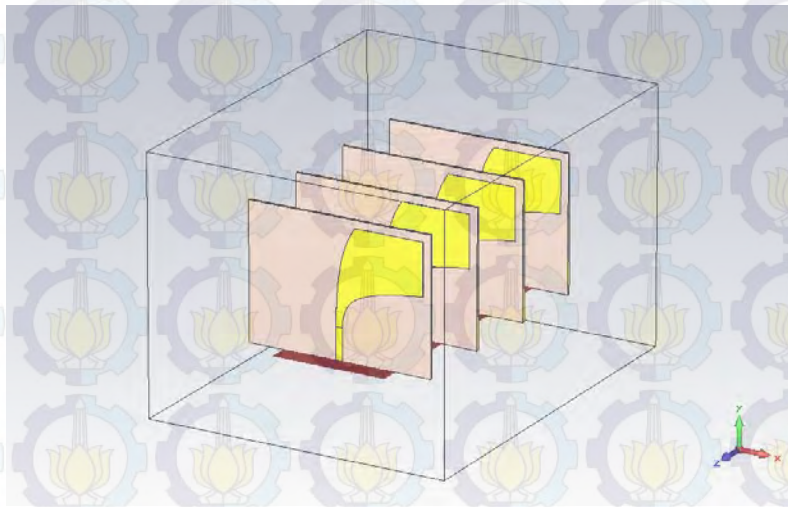
3.4.3 Antena Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen 8d/8

Pada bagian ini ditentukan jarak antar elemen antenna yang akan disimulasikan sebesar 8d/8. Maka jarak antarelemen antenna tersebut sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Jarak antarelemen} &= \frac{8d}{8} \\ \text{Jarak antarelemen} &= \frac{8 \times 5.35 \text{ cm}}{8} \\ \text{Jarak antarelemen} &= 5.35 \text{ cm} \end{aligned}$$

Simulasi antenna *antipodal* Vivaldi empat elemen dengan jarak antarelemen sebesar 5.35 cm ditunjukkan pada Gambar 3.26.

Hasil simulasi *return loss* antenna dari antenna dengan jarak antarelemen sebesar 5.35 cm ditunjukkan pada Gambar 3.27. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa antenna yang disimulasikan bekerja pada rentang frekuensi 1.7731 sampai 2.9554 GHz dan frekuensi tengah pada 2.2571 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -31.797 dB. Nilai *return loss* ini lebih baik jika dibandingkan dua antenna yang telah disimulasikan sebelumnya dengan jarak antarelemen sebesar 4d/8 dan 6d/8. Sedangkan nilai *bandwidth* fraksional berdasarkan hasil perhitungan didapatkan sebesar 50%.



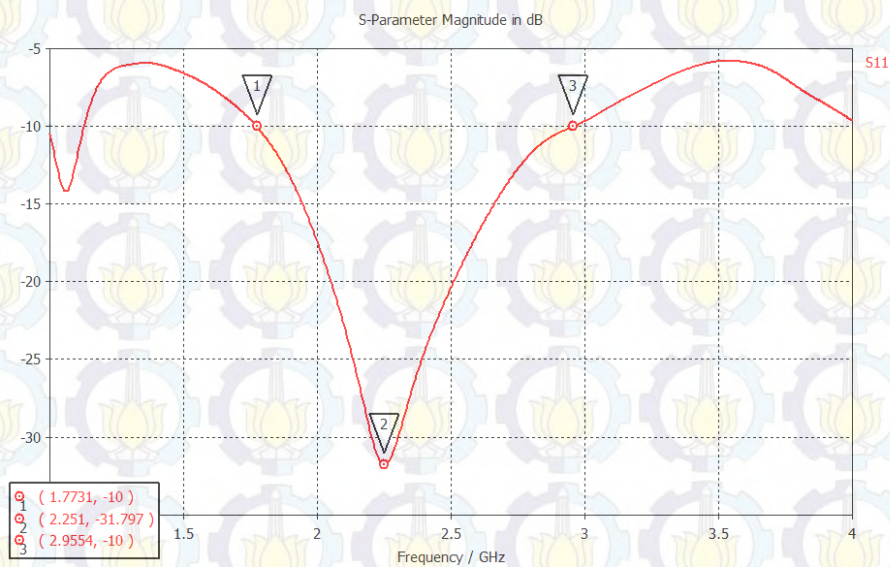
Gambar 3.26 Simulasi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $8d/8$

$$BW = 2.9554 \text{ GHz} - 1.7731 \text{ GHz}$$

$$BW = 1.1823 \text{ GHz}$$

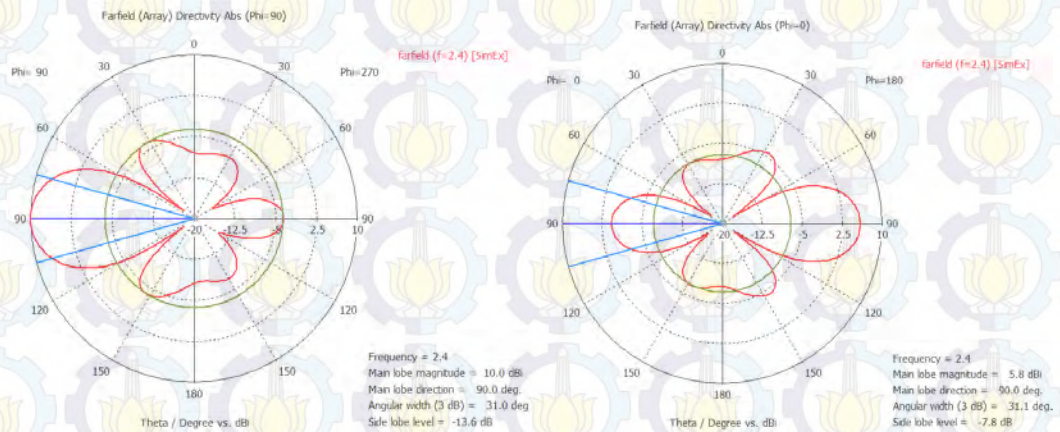
$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.9554 - 1.7731)}{2.9554 + 1.7731} \times 100\%$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = 50\%$$

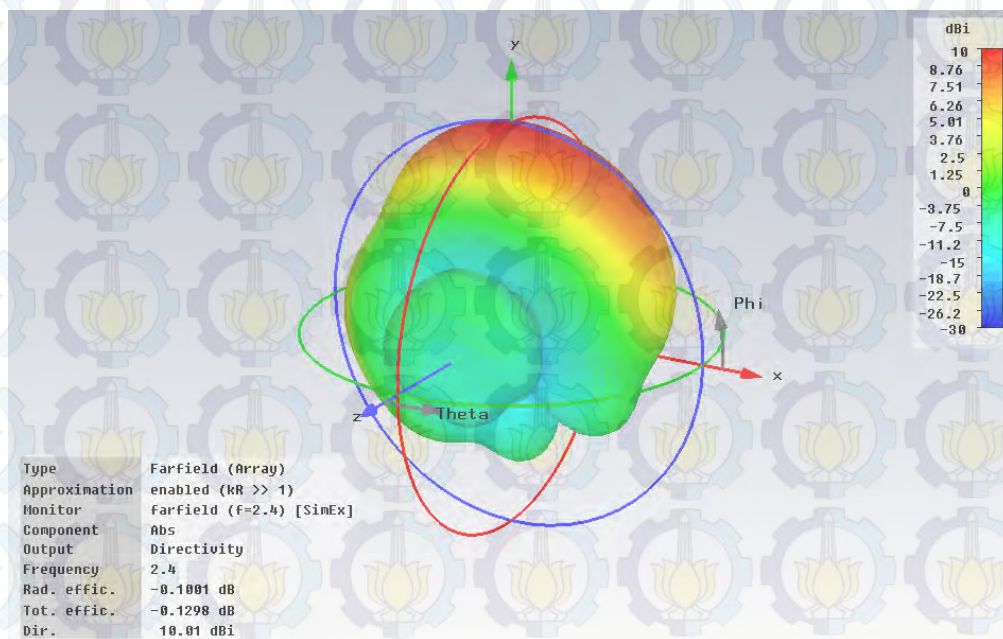


Gambar 3.27 Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $8d/8$

Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* ditunjukkan pada Gambar 3.28 dan 3.29. Pada gambar tersebut terlihat bahwa antenna yang disimulasikan memiliki pola radiasi dengan *main lobe direction* sebesar 90^0 dan *gain* sebesar 10 dBi.



Gambar 3.28 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $8d/8$



Gambar 3.29 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* tiga dimensi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen $8d/8$

3.4.4 Antena *Antipodal Vivaldi Array* Empat Elemen dengan Jarak Antarelemen $10d/8$

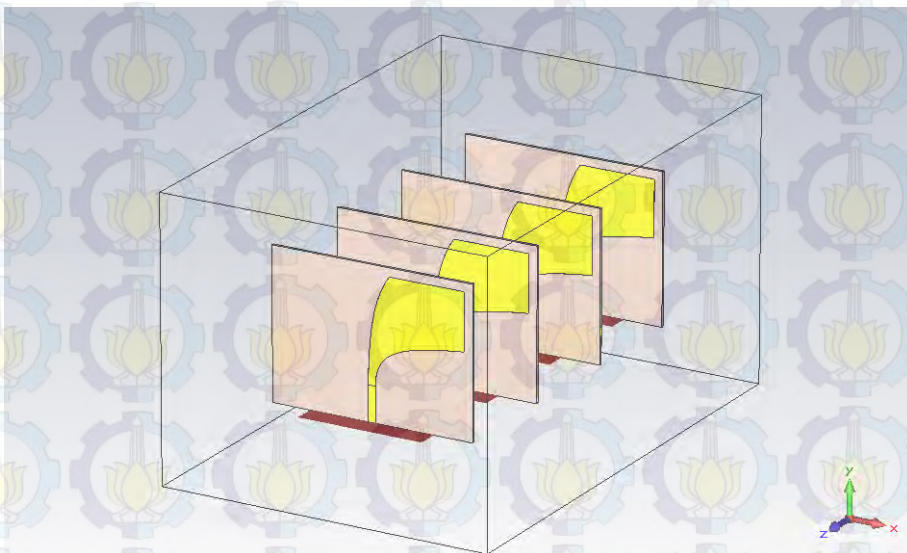
Pada bagian ini ditentukan jarak antarelemen sebesar atau $10d/8$. Maka jarak antarelemen antenna yang akan disimulasikan sebesar:

$$\text{arak antarelemen} = \frac{10d}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = \frac{10 \times 5.35 \text{ cm}}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = 6.6875 \text{ cm}$$

Simulasi antenna dengan jarak antarelemen sebsar 6.6875 cm ditunjukkan pada Gambar 3,30.



Gambar 3.30 Simulasi antenna *antipodal Vivaldi Array* empat elemen dengan jarak antarelemen $10d/8$

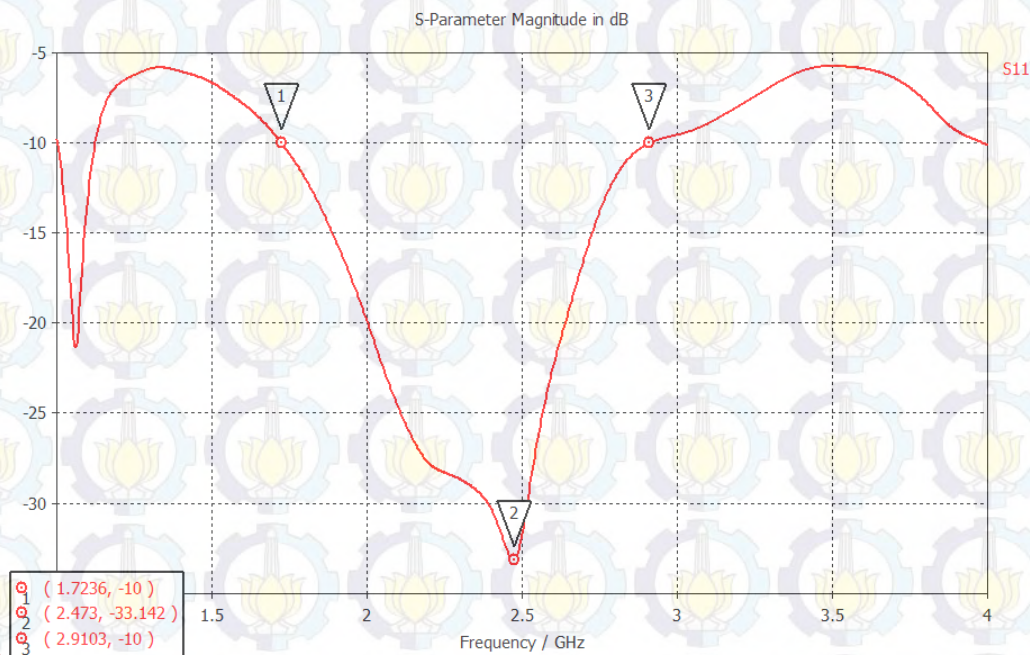
Hasil simulasi *return loss* antenna yang disimulasikan ditunjukkan oleh Gambar 3.31. Antena tersebut bekerja pada rentang frekuensi 1.7326 sampai 2.9103 GHz dan frekuensi tengah 2.473 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -33.142. Berdasarkan hasil simulasi, antenna dengan jarak antarelemen sebesar $10d/8$ memiliki nilai *return loss* yang jauh lebih baik dibandingkan dengan antenna yang memiliki jarak antarelemen sebesar $4d/8$, $4d/8$ dan $8d/8$.

$$BW = 2.9103 \text{ GHz} - 1.7326 \text{ GHz}$$

$$BW = 1.1867 \text{ GHz}$$

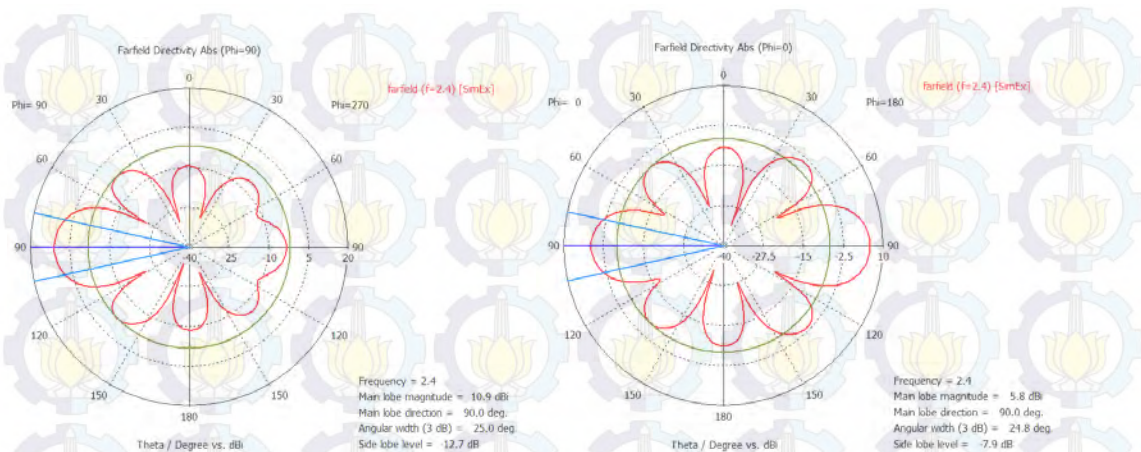
$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.9103 - 1.7326)}{2.9103 + 1.7326} \times 100\%$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = 50.73\%$$

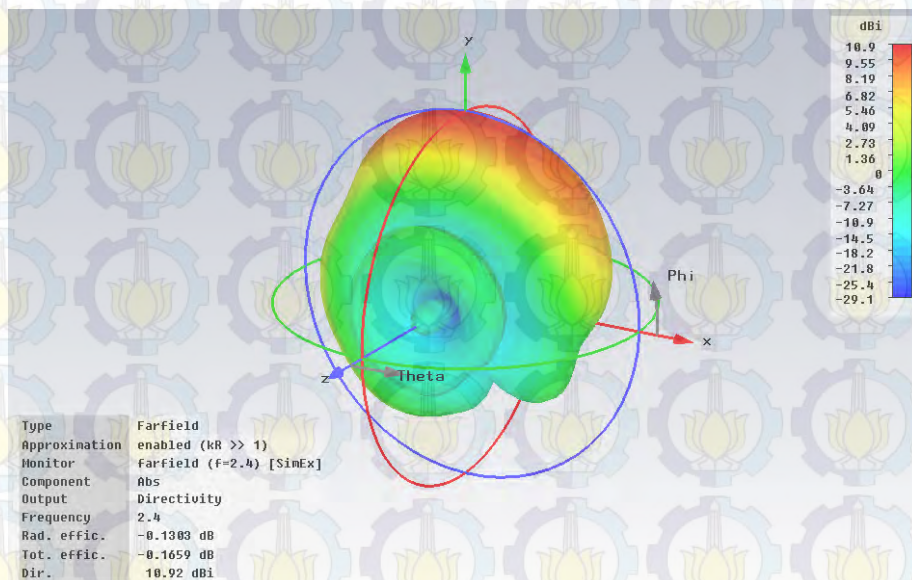


Gambar 3.31 Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen 10d/8

Sedangkan hasil simulasi pola radiasi dan *gain* ditunjukkan pada Gambar 3.32 dan 3.33. Pada gambar tersebut, antenna yang disimulasikan memiliki pola radiasi dengan *main lobe direction* sebesar 90° dan *gain* 10.9 dBi.



Gambar 3.32 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen 10d/8



Gambar 3.33 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* tiga dimensi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelelemen 10d/8

3.4.5 Antena *Antipodal* Vivaldi Array Empat Elemen dengan Jarak Antarelelemen 12d/8

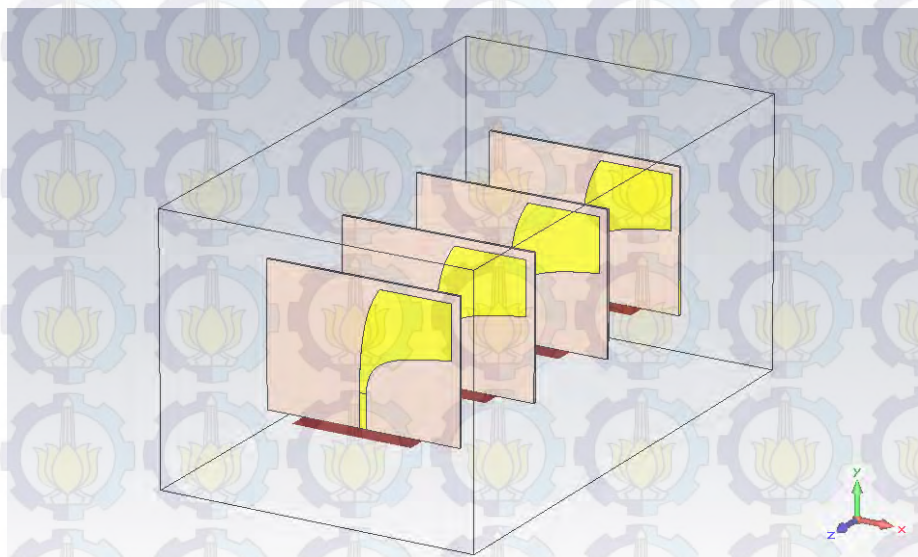
Pada bagian ini ditentukan jarak antarelelemen sebesar $5/8 \lambda$. Maka jarak antarelelemen (d) antenna yang disimulasikan sebesar:

$$\text{Jarak antarelemen} = \frac{12d}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = \frac{12 \times 5.35 \text{ cm}}{8}$$

$$\text{Jarak antarelemen} = 8.025 \text{ cm}$$

Simulasi dari antenna *antipodal* vivaldi Array dengan jarak antarelemen sebesar 8.025 cm ditunjukkan pada Gambar 3.34.



Gambar 3.34 Simulasi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$

Hasil simulasi *return loss* antenna dengan jarak antarelemen sebesar $12d/8$ ditunjukkan pada Gambar 3.35. Pada gambar tersebut, antenna yang disimulasikan bekerja pada rentang frekuensi 1.6678 sampai 2.8704 GHz dan frekuensi tengah pada 2.482 GHz dengan *return loss* sebesar -23.152 dB

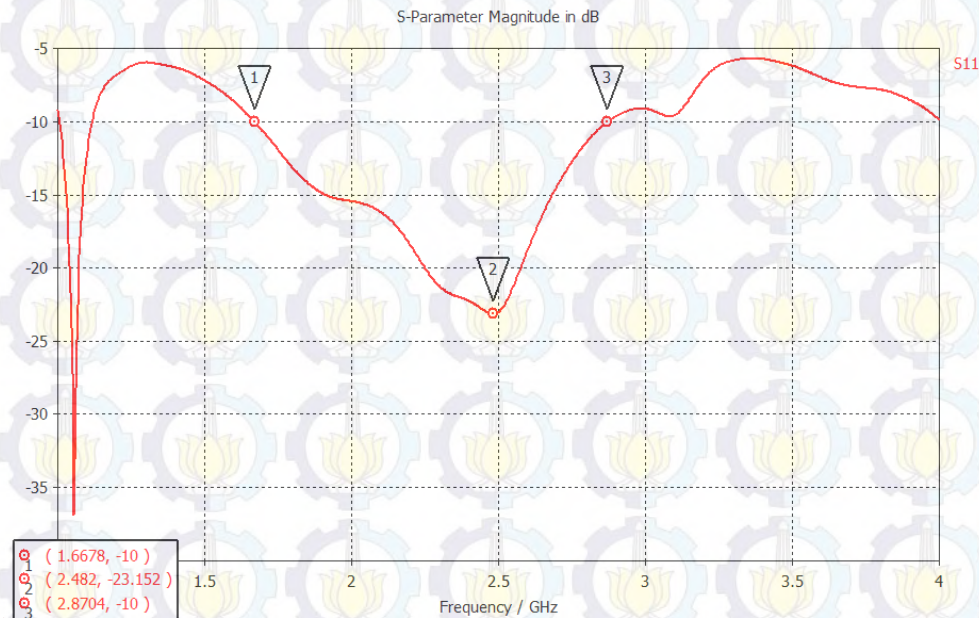
$$BW = 2.8704 \text{ GHz} - 1.6678 \text{ GHz}$$

$$BW = 1.2026 \text{ GHz}$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.8704 - 1.6678)}{2.8704 + 1.6678} \times 100\%$$

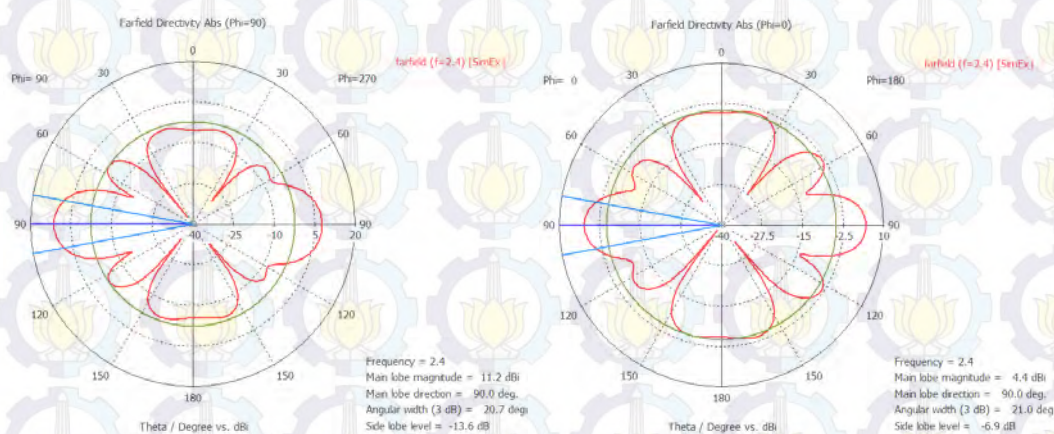
$$\text{Bandwidth fraksional} = 53\%$$

Dengan menggunakan perhitungan maka diperoleh nilai *bandwidth* dari antenna sebesar 1.2026 GHz atau 48.45% dan *bandwidth* fraksional sebesar 53%.

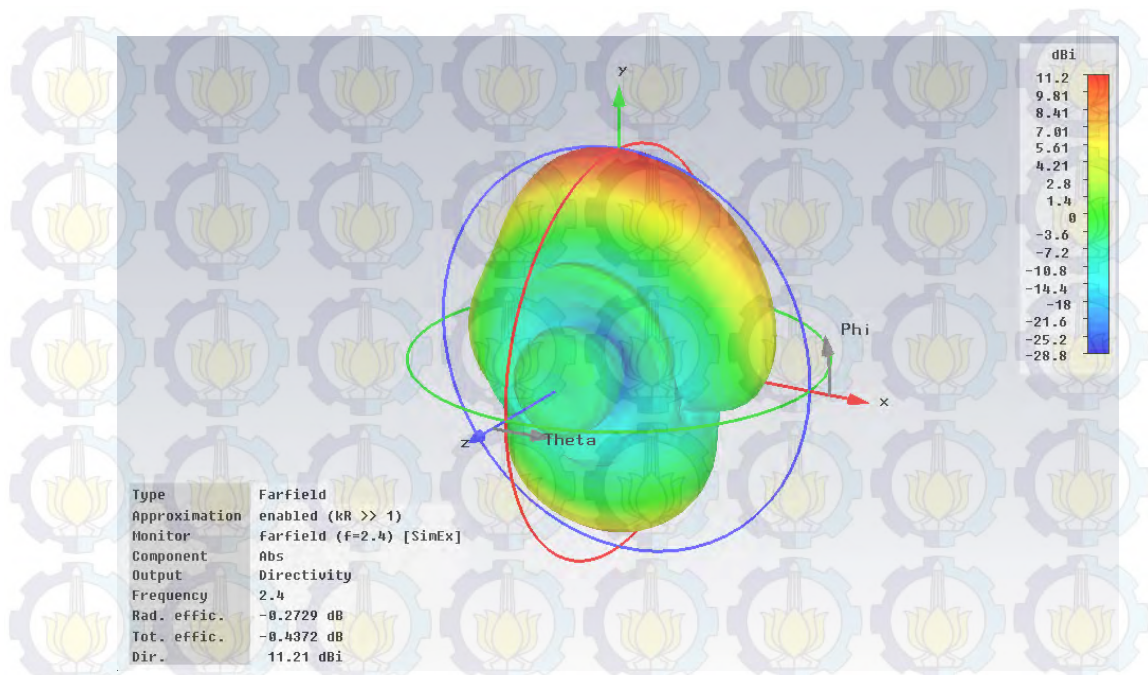


Gambar 3.35 Hasil simulasi *return loss* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$

Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* dari antenna ini ditunjukkan pada Gambar 3.36 dan 3.37. Dari gambar tersebut diketahui bahwa antenna memiliki pola radiasi dengan *main lobe direction* sebesar 0 dan *gain* 11.2 dBi.



Gambar 3.36 Hasil simulasi pola radiasidan *gain* antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$



Gambar 3.37 Hasil simulasi pola radiasi dan *gain* tiga dimensi antenna *antipodal* Vivaldi Array empat elemen dengan jarak antarelemen $12d/8$

Sehingga perbandingan hasil simulasi jarak antarelemen pada antenna *antipodal* Vivaldi array empat elemen adalah sebagai berikut

Tabel 3.4 Perbandingan hasil simulasi jarak antarelemen antenna *antipodal* Vivaldi array empat elemen

Jarak Antarelemen	Frekuensi Tengah	Return loss	Bandwidth Fraksional	HPBW	Total Gain
$\frac{4d}{8}$ atau $\frac{4\lambda}{16}$	2.296 GHz	-19.398 dB	51.86%	56.9^0	7.4 dBi
$\frac{6d}{8}$ atau $\frac{6\lambda}{16}$	2.29 GHz	-26.994 dB	45.26%	40^0	8.9 dBi
$\frac{8d}{8}$ atau $\frac{8\lambda}{16}$	2.2571 GHz	-31.797 dB	50%	31^0	10 dBi
$\frac{10d}{8}$ atau $\frac{10\lambda}{16}$	2.473 GHz	-33.142 dB	50.73%	25^0	10.9 dBi

Jarak Antarelemen	Frekuensi Tengah	<i>Return loss</i>	<i>Bandwidth</i> Fraksional	HPBW	Total <i>Gain</i>
$\frac{12d}{8}$ atau $\frac{12\lambda}{16}$	2.482 GHz	-23.152 dB	53%	20.7°	11.2 dBi

Berdasarkan kriteria dan spesifikasi desain yang telah ditentukan, maka parameter utama yang menjadi pertimbangan dalam penentuan jarak antarelemen adalah *return loss* dan *gain*. Selain itu, perlu performansi antenna array akan lebih optimum jika jarak antarelemen semakin dekat dengan nilai (d) [23]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak antarelemen yang menghasilkan antenna dengan *return loss* dan *gain* yang paling sesuai dengan kriteria desain adalah sebesar $10d/8$ atau sebesar 6.6875 cm.

BAB IV

PENGUKURAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengukuran antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal dan *array* empat elemen yang telah didesain terlebih dahulu dengan menggunakan simulasi *CST Microwave Studio*. Setelah dilakukan pengujian, maka hasil pengukuran antenna antipodal Vivaldi akan dibandingkan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil perbandingan tersebut kemudian akan dianalisis sehingga jika terdapat perbedaan antara hasil fabrikasi dan simulasi, dapat disimpulkan parameter atau perangkat yang berpengaruh dalam proses perancangan antenna antipodal Vivaldi.

4.1 Fabrikasi dan Perancangan Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi

Pada bagian ini akan dibahas mengenai fabrikasi dan perancangan hasil fabrikasi antenna antipodal Vivaldi. Fabrikasi antenna dilakukan berdasarkan hasil perancangan dan simulasi dengan menggunakan software *CST Microwave Studio*.

4.1.1 Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi

Antena antipodal Vivaldi elemen tunggal yang difabrikasi memiliki dimensi sebesar 120.3 mm x 87.2 mm. Substrat yang digunakan pada fabrikasi sama dengan simulasi yaitu RO 4360 dengan nilai konstanta dielektrik sebesar 6.15. Pada antenna tersebut, terdapat dua elemen peradiasi yang masing-masing terdapat pada sisi depan dan sisi belakang juga terdapat *ground* pada sisi belakang antenna. Antena antipodal Vivaldi yang dirancang kemudian dicatu dengan konektor tipe *SMA female* dengan impedansi 50 ohm. Antena tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Berdasarkan pengukuran hasil simulasi dan fabrikasi antena, diketahui bahwa terdapat perbedaan dimensi pada beberapa parameter antena yang disimulasikan. Perbedaan dimensi antara hasil simulasi dan pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari tabel tersebut, diketahui bahwa besarnya W_1 , W_2 , L_1 , dan L_2 berbeda antara simulasi dan hasil fabrikasi yang memungkinkan terjadinya perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran.

Tabel 4.1 Perbandingan Dimensi Simulasi dan Hasil Fabrikasi

Parameter	Simulasi (mm)	Hasil Fabrikasi (mm)
W_1	120.3	119
W_2	110.3	109
L_1	87.2	85
L_2	82.2	81

4.1.2 Perancangan Hasil Fabrikasi Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Antena antipodal Vivaldi elemen tunggal difabrikasi sebanyak empat buah kemudian akan disusun secara *array* dengan jarak antarelemen seperti yang telah ditentukan pada bab sebelumnya. Antena akan disusun secara *array* dengan menggunakan penyangga berbahan *acrylic* yang kemudian akan diletakkan di atas sebuah *array holder* yang juga berbahan *acrylic*. Penyangga yang digunakan sebelumnya telah dirancang agar sesuai dengan dimensi antena dan dapat diletakkan tegak lurus terhadap *array holder*. *Array holder* yang digunakan juga telah dirancang agar mampu menahan beban antena dan penyangga yang akan diletakkan di atasnya. Di bagian tengah dari *array holder*, terdapat lubang dengan lebar 2 cm untuk mempermudah pemasangan konektor ke antena dan mengubah jarak antarelemen guna optimasi antena.

4.2 Pengukuran dan Analisis Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Pengukuran antena antipodal Vivaldi elemen tunggal dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performansi antena. Pengukuran tersebut meliputi *return loss*, VSWR, pola radiasi, dan *gain*. Pengukuran *return loss* dan VSWR dilakukan dengan menggunakan *network analyzer* di Laboratorium Antena dan Propagasi, ruang B306 Teknik Elektro ITS. Dalam pengukuran *return loss*, akan diketahui rentang frekuensi kerja dan frekuensi tengah dari antena yang telah difabrikasi, sehingga lebar *bandwidth* dari antena yang diukur juga dapat diketahui dengan menghitung selisih frekuensi kerja tertinggi dan terendah dari antena. Selain itu juga dapat ditentukan besarnya *bandwidth* fraksional untuk menentukan apakah antena yang dirancang merupakan antena *Ultra Wideband*. Sedangkan pengukuran pola radiasi dan *gain* dilakukan dengan menggunakan *spectrum analyzer* di Laboratorium Antena dan Propagasi, ruang B306 Teknik Elektro ITS. Dalam pengukuran antena elemen tunggal, antena yang telah dihubungkan ke konektor *SMA female* kemudian dihubungkan ke *network* ataupun *spectrum analyzer* dengan menggunakan kabel *coaxial* 50 ohm yang telah disambungkan ke konektor *SMA male* 50 ohm. Untuk pengukuran antena *array* empat elemen,

antena yang masing-masing telah dihubungkan ke konektor *SMA female* kemudian diletakkan di atas penyangga berbahan *acrylic* dan diberi penguat. Penyangga tersebut kemudian disusun pada *array holder* yang juga berbahan *acrylic* dan diukur untuk menentukan jarak antarelelemen yang telah ditentukan yaitu sebesar $10d/8$ atau 6.6875 cm. Masing-masing antenna kemudian dihubungkan ke sebuah kabel *coaxial* 50 ohm dengan konektor *SMA male*. Untuk mengukur antenna *array* hasil fabrikasi, keempat kabel *coaxial* tersebut kemudian dihubungkan ke sebuah *power divider/combiner* yang bekerja pada rentang frekuensi 800 sampai 2500 MHz. Keluaran dari *power divider/combiner* tersebut lalu dihubungkan dengan *network/spectrum analyzer* untuk diukur.

4.2.1 Pengukuran *Return loss* Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Hasil pengukuran *return loss* dari antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa antenna yang diukur bekerja pada rentang frekuensi 2.04 sampai 2.37 GHz. Frekuensi tengah antenna terukur adalah pada 2.22 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -34.1526 dB. Dengan mengetahui rentang frekuensi kerja, maka lebar *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan:

$$BW = 2.37 \text{ GHz} - 2.04 \text{ GHz}$$

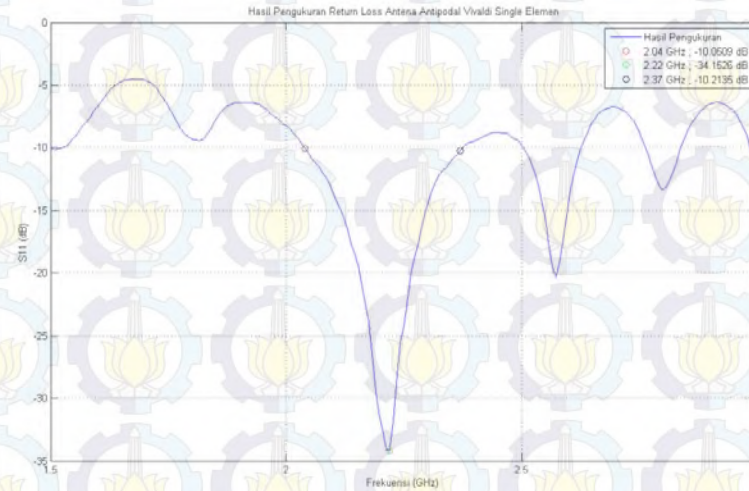
$$BW = 0.33 \text{ GHz}$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.8704 - 1.6678)}{2.8704 + 1.6678} \times 100\%$$

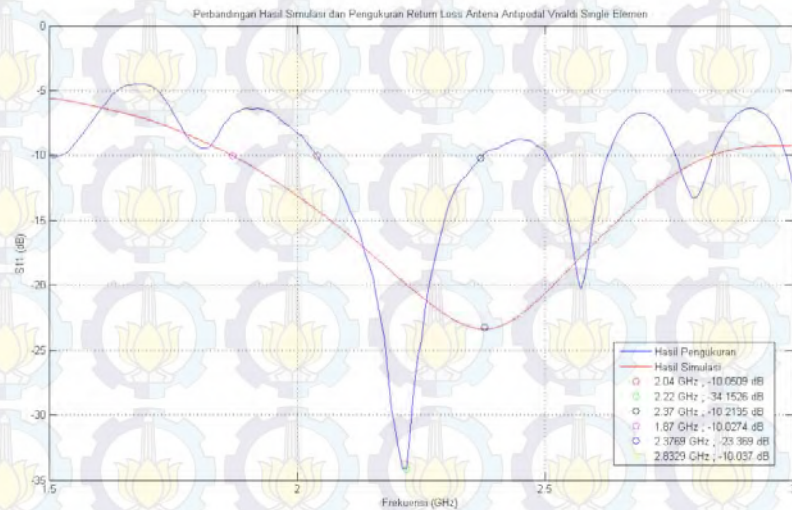
$$\text{Bandwidth fraksional} = 53\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa lebar *bandwidth* dari antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal adalah 0.33 GHz atau 14.86%. Dengan menggunakan persamaan untuk menghitung *bandwidth* fraksional, maka didapatkan nilai *bandwidth* fraksional dari antenna yang diukur adalah sebesar 53%. Dari hasil pengukuran antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal, diketahui bahwa beberapa parameter antenna yang dirancang telah memenuhi spesifikasi dan kriteria desain yang telah ditentukan sebelumnya. Namun *bandwidth* dari antenna hasil fabrikasi relatif jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *bandwidth* antenna

hasil simulasi, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain ketelitian dalam proses fabrikasi ataupun pada saat proses penyolderan konektor ke antenna. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran *return loss* antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal



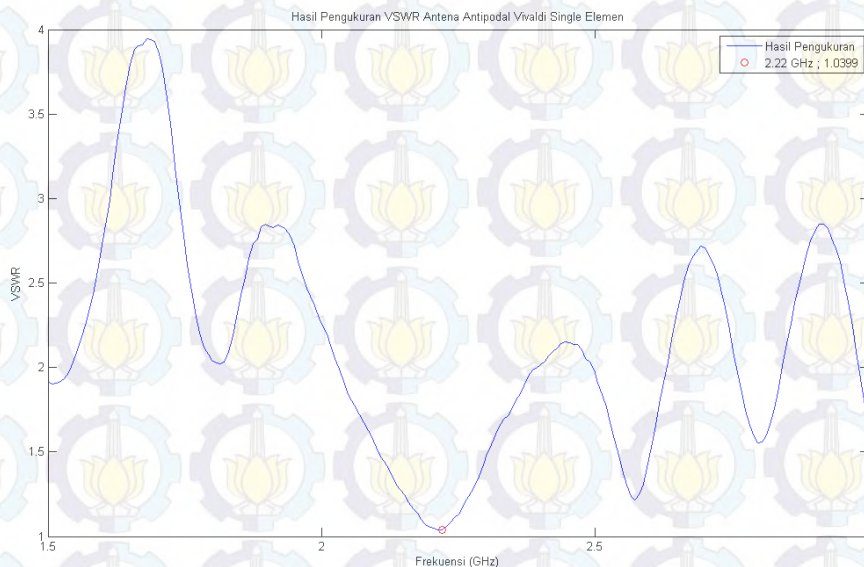
Gambar 4.3 Perbandingan *return loss* hasil simulasi dan pengukuran pada antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal

4.2.2 Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengukuran VSWR antena antipodal Vivaldi elemen tunggal. Hasil pengukuran VSWR tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan hasil pengukuran, besarnya VSWR hasil pengukuran pada frekuensi tengah antena yaitu pada frekuensi 2.2 GHz adalah sebesar 1.0399. Nilai VSWR ini sudah sesuai dengan spesifikasi dan kriteria desain antena yang telah ditentukan.

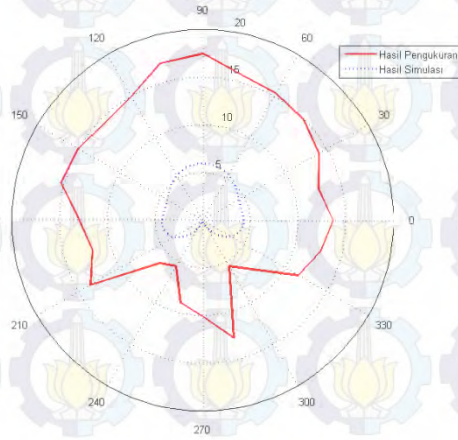
4.2.3 Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengukuran pola radiasi dari antena antipodal Vivaldi elemen tunggal. Pengukuran menggunakan *spectrum analyzer*. Pada Gambar 4.5 dan 4.6. Pada kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa antena elemen tunggal yang dirancang memiliki pola radiasi direksional. Hasil pengukuran ini relatif sedikit berbeda jika dibandingkan dengan hasil simulasi. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh ketelitian dimensi antena, sudut yang digunakan pada saat pengukuran pola radiasi, ataupun pembacaan nilai level daya pada *spectrum analyzer*.



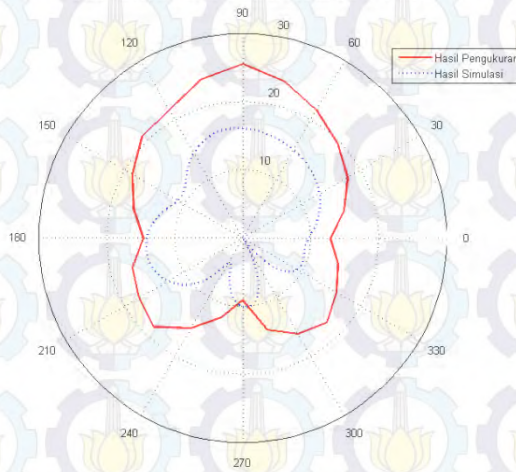
Gambar 4.4 Hasil pengukuran VSWR antena antipodal Vivaldi elemen tunggal

Perbandingan Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Elemen Tunggal Bidang Theta 90



Gambar 4.5 Pola radiasi antena antipodal Vivaldi elemen tunggal Theta 90

Perbandingan Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Single Elemen Phi 90



Gambar 4.6 Pola radiasi antena antipodal Vivaldi elemen tunggal Phi 90

4.2.4 Pengukuran *Gain* Antena Antipodal Vivaldi Elemen tunggal

Pengukuran *gain* antena antipodal Vivaldi elemen tunggal dilakukan dengan mengukur daya yang diterima oleh antena yang diuji. *Gain* antena uji kemudian dibandingkan dengan *gain* antena referensi. Pada pengukuran ini antena referensi yang digunakan adalah antena dengan frekuensi kerja pada 2.4 GHz dan *gain* sebesar 3 dBi. Beberapa parameter yang diketahui dalam pengukuran *gain* ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Level daya terima antenna referensi (Pt)} = -70 \text{ dBm}$$

$$\text{Gain antenna referensi (Gt)} = 3 \text{ dBi}$$

$$\text{Level Daya Terima Antena Uji (Pr)} = -58.3 \text{ dBm}$$

Maka *gain* antenna uji (Gr) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Gr = Pt - Pr + Gt$$

$$Gr = -70 \text{ dBm} - (-58.3 \text{ dBm}) + 3 \text{ dBi}$$

$$Gr = 14.7 \text{ dBi}$$

Hasil pengukuran *gain* pada antenna elemen tunggal ini relatif jauh lebih besar jika dibandingkan dengan hasil simulasi pada antenna antipodal Vivaldi elemen tunggal sebesar 3.2 dBi.

4.3 Pengukuran Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengukuran dari antenna antipodal Vivaldi *array* empat elemen dengan menggunakan *network analyzer* dan *spectrum analyzer*. Beberapa parameter yang diukur antara lain *return loss* dan VSWR yang diukur dengan menggunakan *network analyzer* dan pola radiasi dan *gain* yang diukur dengan menggunakan *spectrum analyzer*. Proses pengukuran antenna ditunjukkan pada Gambar 4.9.

4.3.1 Pengukuran *Return loss* Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Dari Gambar 4.7, dapat diketahui bahwa antenna antipodal Vivaldi *array* empat elemen yang disusun dengan jarak antarelemen sebesar $10\lambda/8$ bekerja pada rentang frekuensi 1.98 sampai 2.77 GHz dan frekuensi tengah pada 2.46 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -38.8579 dB.

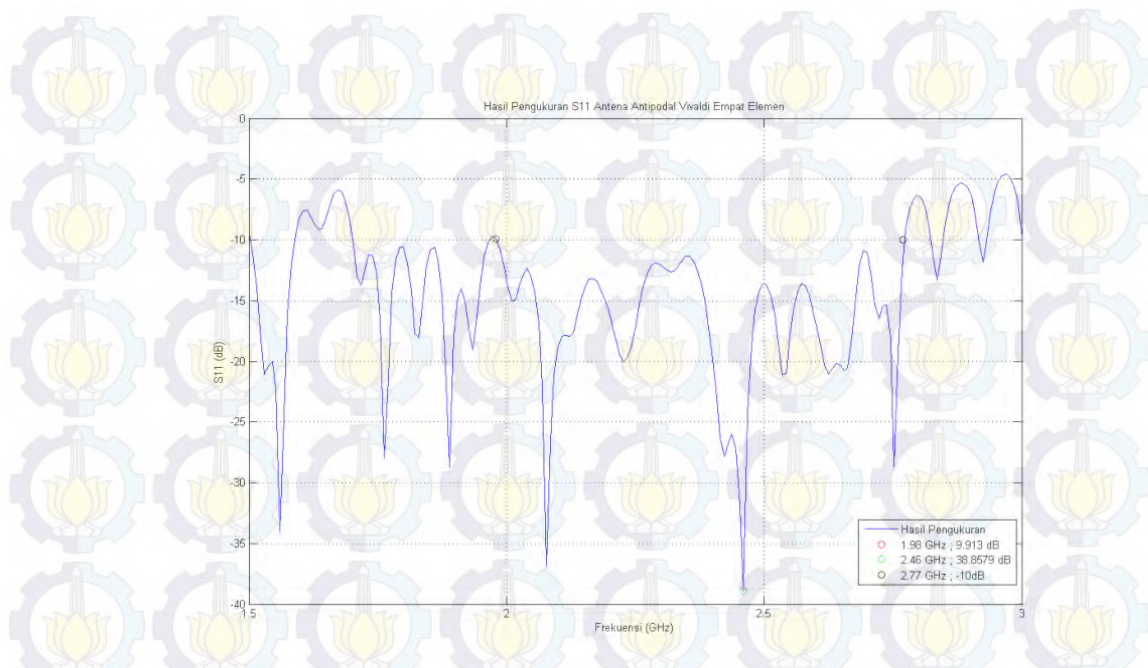
Sehingga nilai *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan:

$$BW = 2.77 \text{ GHz} - 1.98 \text{ GHz}$$

$$BW = 0.79 \text{ GHz}$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = \frac{2(2.77 - 1.98)}{2.77 + 1.98} \times 100\%$$

$$\text{Bandwidth fraksional} = 33.26\%$$



Gambar 4.7 Hasil pengukuran *return loss* antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen

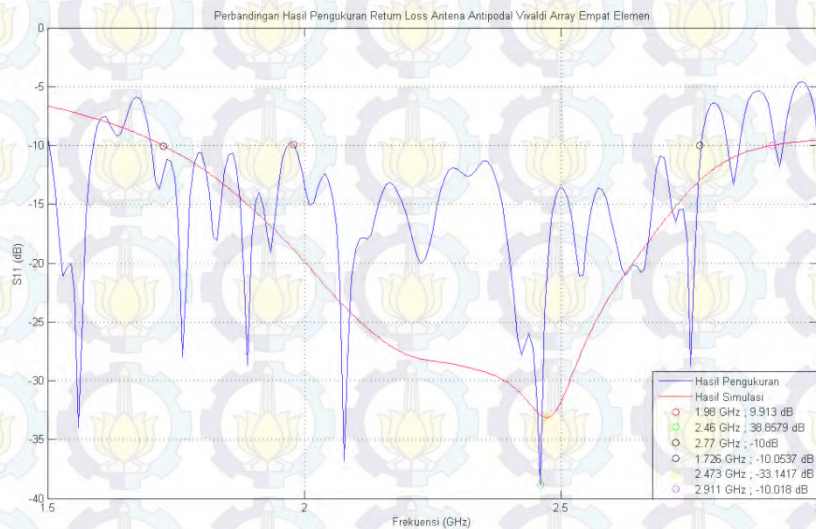
Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa antena yang diukur memiliki *bandwidth* sebesar 0.79 GHz atau 32.11%, sedangkan *bandwidth* fraksional yang didapatkan adalah sebesar 33.26%.

Dari perbandingan hasil simulasi *return loss* dan pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.8. Frekuensi tengah yang diperoleh relatif sama dan nilai *return loss* pada hasil pengukuran relatif lebih kecil. Namun berdasarkan hasil pengukuran, pada rentang frekuensi 2.2 sampai 2.4 GHz terjadi kenaikan nilai *return loss* yang cukup signifikan dibandingkan hasil simulasi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh penyolderan konektor pada antena dan kurang presisinya penyambungan kabel *coaxial* 50 ohm yang digunakan untuk pengukuran saat disambungkan dengan konektor SMA male 50 ohm.

4.3.2 Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi *Array* Empat Elemen

Hasil pengukuran VSWR pada antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen ditunjukkan pada Gambar 4.9. pada gambar tersebut, diketahui bahwa nilai terendah VSWR sebesar 1.023 terjadi pada frekuensi 2.46 GHz. Frekuensi yang menghasilkan VSWR dengan nilai terendah sama dengan frekuensi dengan nilai *return loss* terkecil. Sehingga dari hasil pengukuran diketahui bahwa nilai VSWR

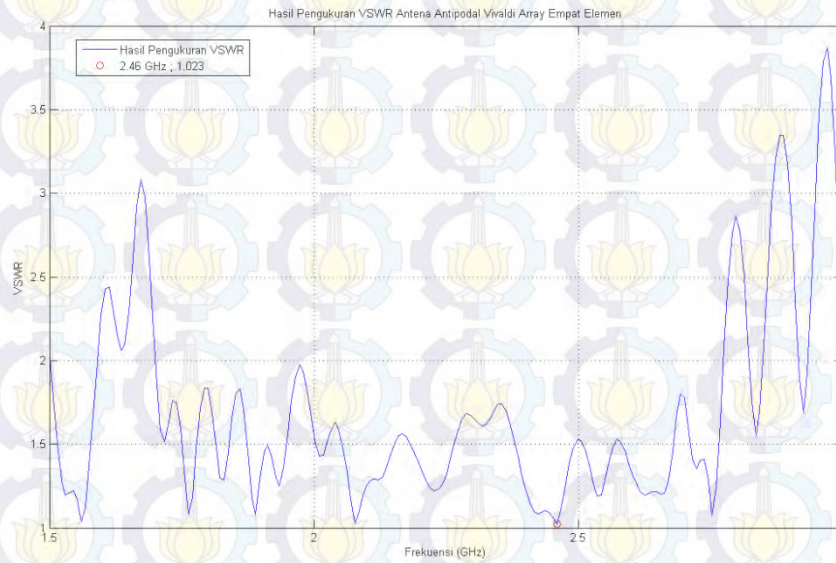
sudah sesuai dengan spesifikasi dan kriteria desain antenna yaitu nilai VSWR kurang dari 2.



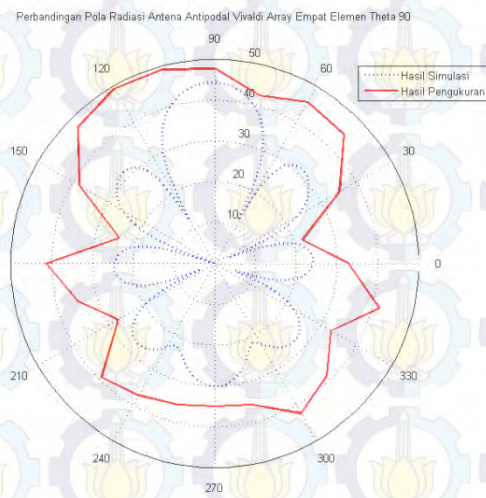
Gambar 4.8 Perbandingan *return loss* hasil simulasi dan pengukuran antenna antipodal Vivaldi array empat elemen

4.3.3 Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

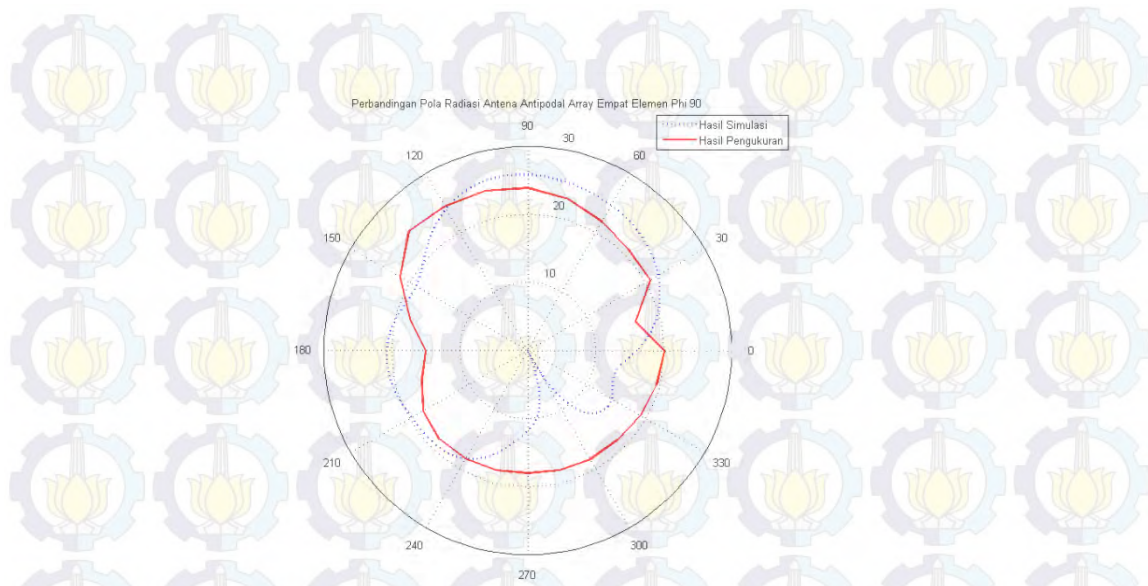
Hasil pengukuran pola radiasi antenna antipodal Vivaldi array empat elemen ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan 4.11. Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa antenna yang dirancang memiliki pola radiasi direksional. Namun hasil pengukuran ini relatif sedikit berbeda jika dibandingkan dengan hasil simulasi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain ketelitian dimensi antenna pada saat fabrikasi, ketepatan sudut yang digunakan pada saat pengukuran pola radiasi, ataupun ketelitian pembacaan nilai level daya pada *spectrum analyzer*.



Gambar 4.9 Hasil pengukuran VSWR antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen



Gambar 4.10 Hasil pengukuran pola radiasi antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen Bidang Theta=90



Gambar 4.11 Hasil pengukuran pola radiasi antena antipodal Vivaldi array empat elemen Bidang Phi 90

4.3.4 Pengukuran *Gain* Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Pengukuran *gain* antena antipodal Vivaldi array empat elemen dilakukan dengan mengukur daya yang diterima oleh antena yang diuji. *Gain* antena uji kemudian dibandingkan dengan *gain* antena referensi. Pada pengukuran ini antena referensi yang digunakan adalah antena dengan frekuensi kerja pada 2.4 GHz dan *gain* sebesar 3 dBi. Sehingga perhitungan nilai *gain* dari antena antipodal Vivaldi array empat elemen adalah:

$$\text{Level daya terima antena referensi (Pt)} = -70 \text{ dBm}$$

$$\text{Gain antena referensi (Gt)} = 3 \text{ dBi}$$

$$\text{Level Daya Terima Antena Uji (Pr)} = -57 \text{ dBm}$$

Maka *gain* antena uji (*Gr*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Gr = Pt - Pr + Gt$$

$$Gr = -70 \text{ dBm} - (-57 \text{ dBm}) + 3 \text{ dBi}$$

$$Gr = 16 \text{ dBi}$$

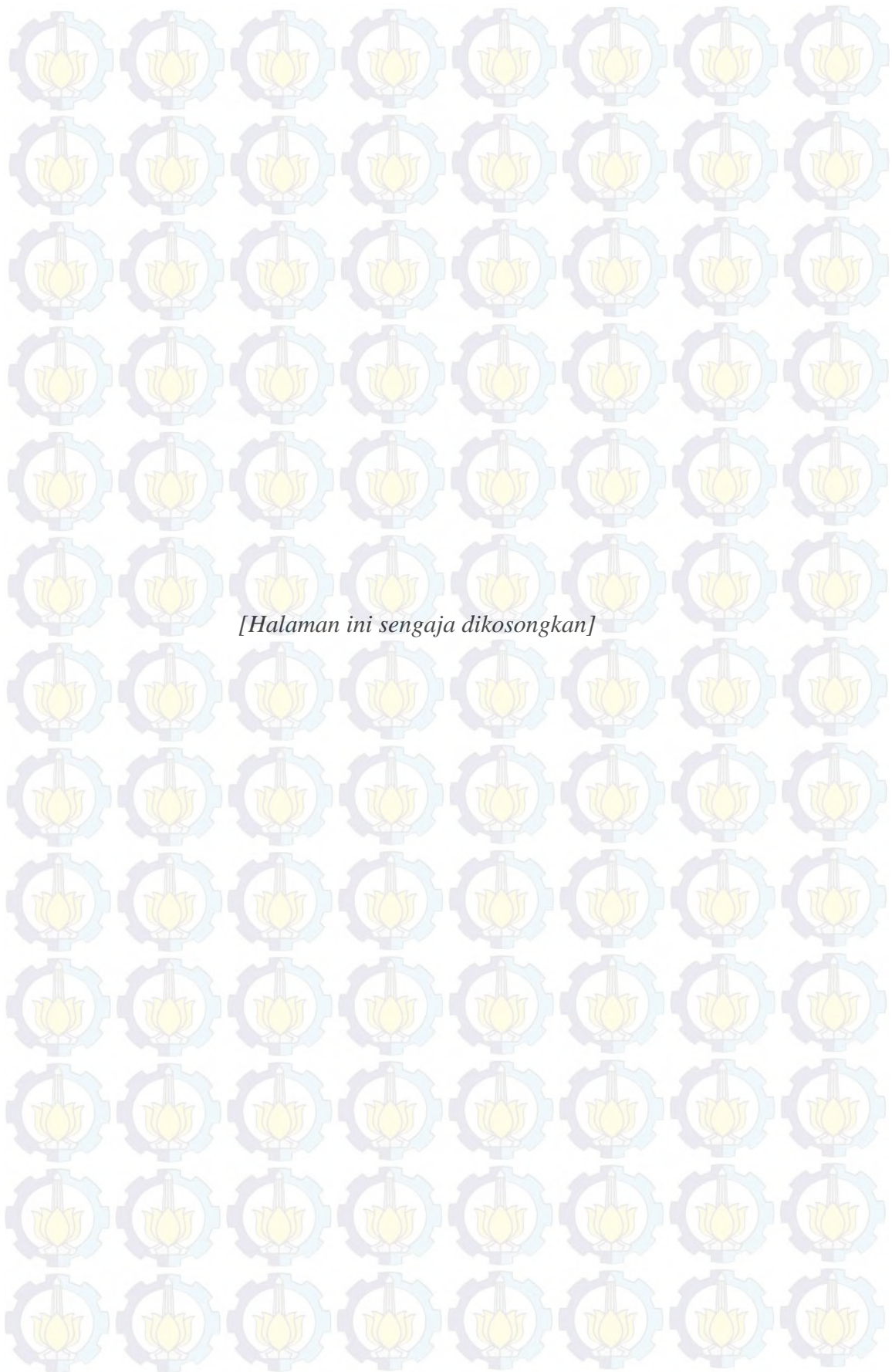
Dari hasil perhitungan diketahui bahwa antena yang dirancang memiliki *gain* sebesar 17.2 dBi. Nilai *gain* ini relatif jauh lebih besar jika dibandingkan dengan hasil simulasi sebesar 10.9 dBi. Maka nilai *gain* antena hasil pengukuran ini telah

memenuhi spesifikasi dan kriteria desain yang telah ditentukan sebelumnya yaitu nilai *gain* sebesar 10 dBi.

Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran, maka perbandingan parameter-parameter yang diukur dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter	Simulasi	Pengukuran
Return Loss (dB)	-33.142	-38.8579
Frekuensi Tengah (GHz)	2.473	2.46
Bandwidth Fraksional (%)	50.73	53
Gain (dBi)	10.9	16
VSWR	1.045	1.045



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen telah dirancang, disimulasikan dan difabrikasi. Spesifikasi antena Vivaldi *array* empat elemen yang diharapkan adalah *return loss* kurang dari -10 dB, *bandwidth* adalah Ultra Wideband atau *bandwidth* fraksional lebih dari 20%, *gain* lebih dari atau sama dengan 10 dBi, dan nilai VSWR kurang dari 2. Hasil simulasi telah memenuhi kriteria desain tersebut.
2. Untuk mendesain antena antipodal Vivaldi *array* empat elemen, terlebih dulu telah didesain antena antipodal Vivaldi elemen tunggal untuk mengetahui karakteristik dari antena. Setelah itu dilakukan perbandingan konfigurasi *array* yang lebih sesuai, yaitu antara planar dan *H-plane*. Berdasarkan hasil simulasi dan perbandingan antara kedua konfigurasi, diketahui bahwa antena antipodal Vivaldi *array* dengan konfigurasi *H-plane* lebih memenuhi kriteria desain yang telah ditentukan.
3. Untuk meminimalkan efek *mutual coupling* antarelemen, telah dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh jarak antarelemen terhadap parameter kerja antena. Jarak antar elemen yang dibandingkan pada simulasi adalah 4d/8, 6d/8, 8d/8, 10d/8 dan 12d/8. Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa antena antipodal Vivaldi *array* dengan jarak antarelemen sebesar 10d/8 atau 6.6875 cm paling sesuai dengan kriteria desain awal antena.
4. Berdasarkan hasil simulasi, antena antipodal Vivaldi *array* bekerja pada rentang frekuensi 1.7326 sampai 2.9103 GHz dan frekuensi tengah pada 2.473 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -33.142 dB. *Bandwidth* yang diperoleh adalah sebesar 1.1867 GHz atau 47.62%. Pola radiasi yang dihasilkan adalah direksional dan *gain* sebesar 10.9 dBi.
Berdasarkan hasil pengukuran, antena antipodal Vivaldi *array* bekerja pada rentang frekuensi 1.98 sampai 2.77 GHz dan frekuensi tengah pada 2.46 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -38.8579 dB. *Bandwidth* yang diperoleh adalah sebesar 0.79 GHz atau 32.11%. Pola radiasi yang dihasilkan adalah direksional dan *gain* sebesar 16 dBi.

Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran, terdapat perbedaan pada rentang frekuensi kerja yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain ketepatan dimensi antenna hasil fabrikasi dan proses penyolderan konektor pada antenna.

Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran, diketahui bahwa antenna yang dirancang dan direalisasikan telah memenuhi kriteria dan spesifikasi desain yang telah ditentukan yaitu, return loss kurang dari -10 dB di dalam bandwidth, VSWR kurang dari 2, Gain 10 dBi pada frekuensi 2.4 GHz, dan bandwidth fraksional lebih dari 20%. Sehingga antenna yang dirancang sudah sesuai untuk aplikasi GPR-UWB.

5.2 Saran

1. Dalam perancangan antenna *array* perlu dilakukan simulasi konfigurasi *array* yang akan digunakan untuk mengetahui konfigurasi *array* yang paling sesuai dengan kriteria desain yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Untuk meminimalkan efek *mutual coupling* juga perlu dilakukan simulasi perbandingan jarak antarelemen sehingga diperoleh antenna dengan efek *mutual coupling* paling kecil dan parameter kerja terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

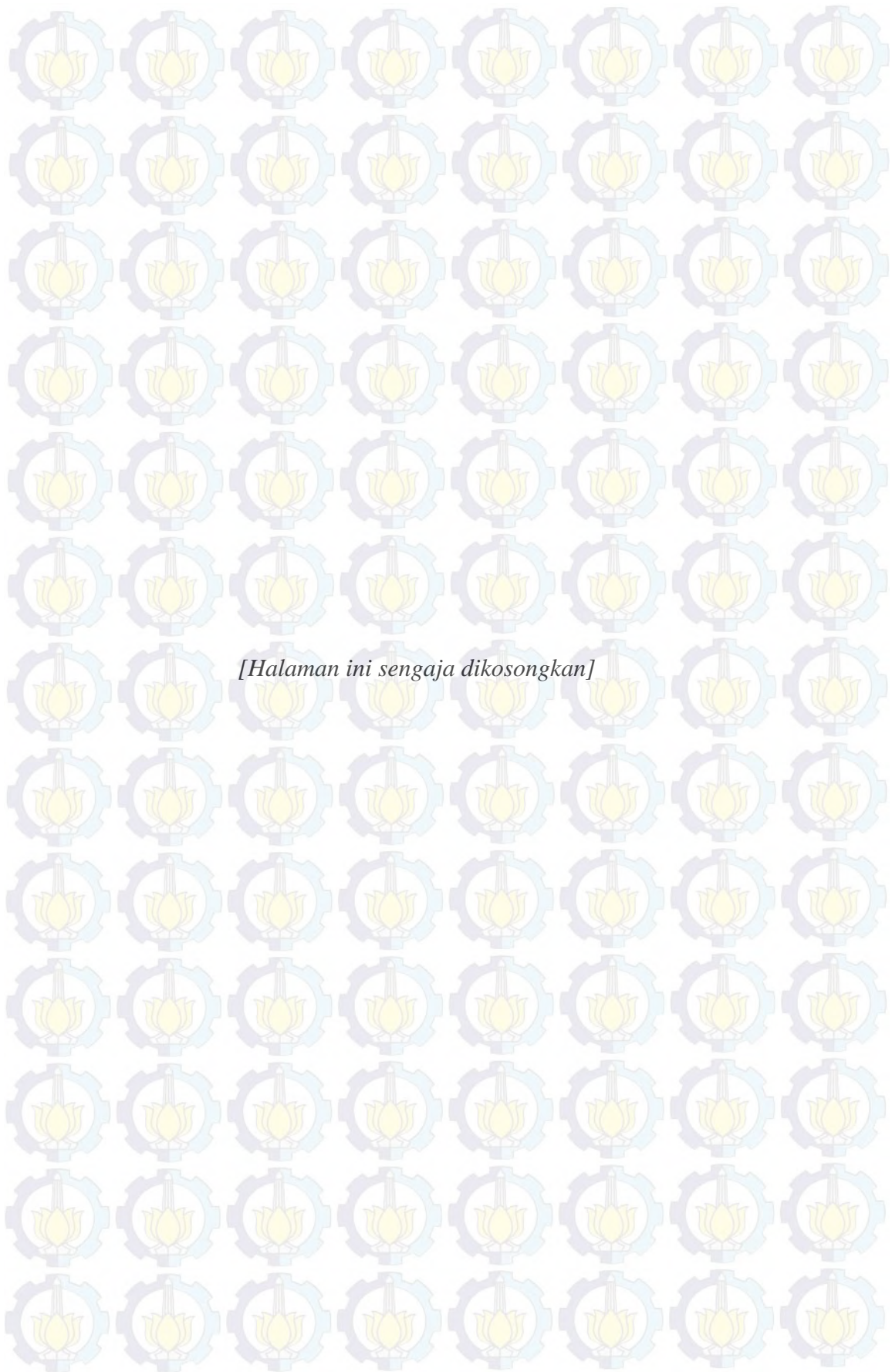
- [1] R. Clarke, R. Karunaratne, C. Schrader, “*Ultra-Wideband Antenna*”, 2004
- [2] “*Interim Report Summary*”, UWB Radio System Committee, 2004
- [3] A. L. Marenco and R. Rice, “*On Ultra Wideband (UWB) Technology and Its Applications to Radar and Communications*,” Georgia Tech Research Institute, Georgia Institute of Technology, October, 2009.]
- [4] Gerry Rom M.S., “Perancangan dan Realisasi Antena *Rolled Dipole* untuk Keperluan GPR dengan Menggunakan Metode FDTD”, Institut Teknologi Bandung]
- [5] Jackson, J.D., 1962, “*Classical Electrodynamics*”, John Wiley and Sons, New York.
- [6] Harry M. Jol, “*Ground Penetrating Radar Theory and Applications*”, University of Wisconsin-Eau Claire
- [7] M. Z. Win, D. Dardari, A. F. Molisch, W. Wiesbeck, and J. Zhang, “*History and applications of UWB*,” in Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 2, pp. 198–204, 2009
- [8] Z.Benmoussa dan D. Barrick, “*The Effects of VSWR on Transmitted Power*”, 2006
- [9] V. Violita, “Desain Antena Helix Quadrifilar Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Perangkat *Ground Station* Satelit Nano”, 2013
- [10] L. Ying, C.Ai-xin, “*Design and Application of Vivaldi Antenna Array*”, EMC Laboratory Beijing University of Aeronautics and Astronautics
- [11] H. Azodi, “*UWB Air-Coupled Antenna for Ground Penetrating Radar*”, Delft University of Tchnology, 2009-2010
- [12] M. Strackx, K. Janssen, E.D. Agostino, G.A.E. Vandenbosch, P. Raynaert, P. Leroux, “*Ultra-Wideband Antipodal Vivaldi Antenna Array With Wilkinson Power Divider Feeding Network*”, IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB), 2011

- [13] R. Kazemi dan A.E. Fathy, “*16-element Vivaldi Antenna Array Fed by a Single Ridge Substrate Integrated Waveguide with over 75% Bandwidth*”, IEEE, 2014
- [14] R.Y. Simamora, F.W. Widyatama, dan R. Wahyono, “*Antenna Phased Array*”
- [15] R.C. Hansen, “*Phased Array Antennas Second Edition*”, 2009
- [16] A.Z. Hood, T. Karacolak, E. Topsakal, “*A Small Antipodal Vivaldi Antenna for Ultrawide-Band Applications*”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 7, 2008
- [17] C. Zhang, M. Kuhn, M. Mahfouz, A.E. Fathy, “*Planar Antipodal Vivaldi Antenna Array Configuration for Low Cross-Polarization and Reduced Mutual Coupling Performance*”, IEEE, 2007
- [18] P. J. Gibson, “*The vivaldi aerial,*” in 9th European Microwave Conference, pp. 101–105, 1979
- [19] A. A. Abbosh, “*Directive antenna for ultrawideband medical imaging systems,*” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2008, 2008
- [20] X. Zhuge, A. Yarovoy, and L. P. Ligthart, “*Circularly tapered antipodal vivaldi antenna for array-based ultra-wideband near-field imaging*”, in 6th European Radar Conference, EuMA 2009, pp. 250–253, 2009
- [21] G Fang dan M. Sato, “*Optimization of Vivaldi Antenna for Demining by GPR*”, Center for Northeast Asian Studies Tohoku University, Kawauchi, Sendai, Jepang
- [22] R. Hezri, H. Zairi, dan A. Gharsallah, “*Antipodal Vivaldi Antenna Array with Reduced Mutual Coupling for UWB Radar Applications*”, 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2014, Hammamet, Tunisia, 2014.
- [23] F.B. Gross, “*Frontiers in Antennas Next Generation Design & Engineering*”, 2011



[24] N. Ardelina, E. Setijadi, P.H. Mukti, B. Manhaval “Comparison of Array Configuration for Antipodal Vivaldi Antenna”, 2015 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications, Bandung, 2015

[25] R. Herzi, H. Zairi, A. Gharsallah,”Antipodal Vivaldi Antenna Array with Reduced Mutual Coupling for UWB Radar Applications”, 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2014, Hammamet, Tunisia, December 21-23, 2014

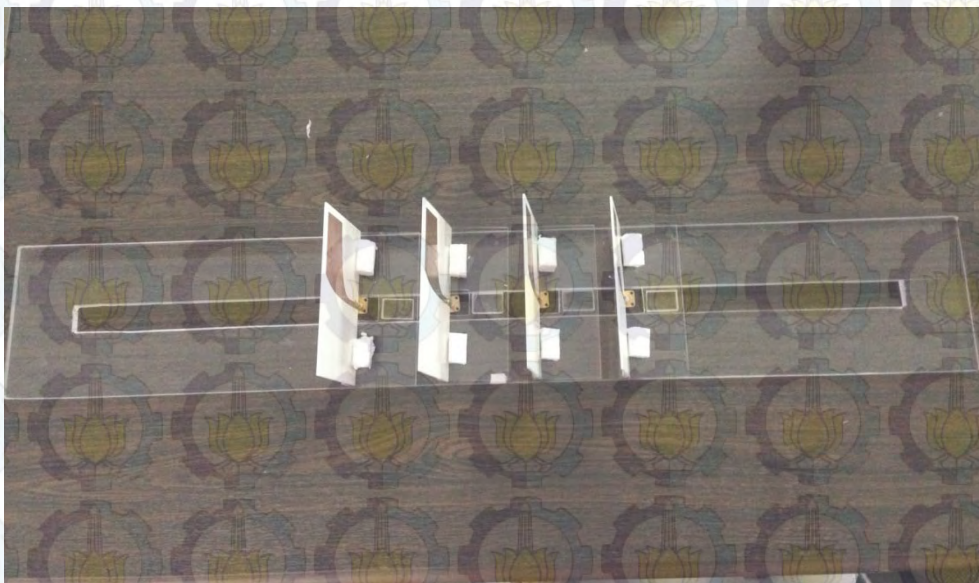


[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN



Gambar 1. Perancangan Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen



Gambar 2. Perancangan Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen yang disusun menggunakan penyangga berbahan acrylic



Gambar 3. Proses pengukuran antenna antipodal Vivaldi array empat elemen

1. Hasil pengukuran antenna antipodal Vivaldi single elemen

1.1 Data hasil pengukuran return loss antenna antipodal Vivaldi single elemen

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
1500000000	-10.0605
1507500000	-10.1329
1515000000	-10.1077
1522500000	-10.0358
1530000000	-9.93537
1537500000	-9.70776
1545000000	-9.35938
1552500000	-9.04458
1560000000	-8.66472
1567500000	-8.29045
1575000000	-7.95534
1582500000	-7.5939
1590000000	-7.13005
1597500000	-6.76538
1605000000	-6.38534
1612500000	-6.04182
1620000000	-5.65481
1627500000	-5.31989

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
1635000000	-5.07344
1642500000	-4.87221
1650000000	-4.68728
1657500000	-4.57919
1665000000	-4.54974
1672500000	-4.54307
1680000000	-4.50222
1687500000	-4.50628
1695000000	-4.51692
1702500000	-4.61181
1710000000	-4.73171
1717500000	-4.97115
1725000000	-5.26893
1732500000	-5.64443
1740000000	-6.07287
1747500000	-6.53508
1755000000	-7.03289
1762500000	-7.51034

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
1770000000	-8.0811
1777500000	-8.50136
1785000000	-8.88554
1792500000	-9.11644
1800000000	-9.30334
1807500000	-9.3966
1815000000	-9.41193
1822500000	-9.36012
1830000000	-9.02421
1837500000	-8.58153
1845000000	-8.10117
1852500000	-7.60599
1860000000	-7.24692
1867500000	-6.91486
1875000000	-6.66718
1882500000	-6.58802
1890000000	-6.41153
1897500000	-6.37406
1905000000	-6.40986
1912500000	-6.41732
1920000000	-6.38446
1927500000	-6.40347
1935000000	-6.45023
1942500000	-6.5332
1950000000	-6.70856
1957500000	-6.97094
1965000000	-7.20451
1972500000	-7.46063
1980000000	-7.61952
1987500000	-7.84459
1995000000	-8.12887
2002500000	-8.30868
2010000000	-8.53467
2017500000	-8.92861
2025000000	-9.25659
2032500000	-9.59691
2040000000	-10.0509
2047500000	-10.4872
2055000000	-10.8696

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
2062500000	-11.1954
2070000000	-11.5462
2077500000	-11.9589
2085000000	-12.4282
2092500000	-12.8548
2100000000	-13.5943
2107500000	-14.373
2115000000	-14.8321
2122500000	-15.5477
2130000000	-16.5363
2137500000	-17.5365
2145000000	-18.3967
2152500000	-19.3608
2160000000	-20.7831
2167500000	-22.362
2175000000	-23.9277
2182500000	-26.3347
2190000000	-29.4278
2197500000	-31.1291
2205000000	-32.5505
2212500000	-34.1378
2220000000	-34.1526
2227500000	-31.757
2235000000	-28.1783
2242500000	-25.5647
2250000000	-24.2265
2257500000	-21.991
2265000000	-20.0676
2272500000	-18.721
2280000000	-17.6198
2287500000	-16.3746
2295000000	-15.1085
2302500000	-14.1308
2310000000	-13.3845
2317500000	-12.6717
2325000000	-12.1613
2332500000	-11.8039
2340000000	-11.5774
2347500000	-11.2139

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
2355000000	-10.8339
2362500000	-10.5471
2370000000	-10.2135
2377500000	-9.8474
2385000000	-9.62588
2392500000	-9.57009
2400000000	-9.46149
2407500000	-9.3402
2415000000	-9.17492
2422500000	-9.03664
2430000000	-8.9278
2437500000	-8.79063
2445000000	-8.74067
2452500000	-8.77255
2460000000	-8.81311
2467500000	-8.83097
2475000000	-8.97848
2482500000	-9.23569
2490000000	-9.35478
2497500000	-9.63704
2505000000	-10.0992
2512500000	-10.5934
2520000000	-11.1334
2527500000	-11.9532
2535000000	-13.0316
2542500000	-14.2315
2550000000	-15.6827
2557500000	-17.5859
2565000000	-19.5089
2572500000	-20.2829
2580000000	-19.2522
2587500000	-17.4696
2595000000	-15.4224
2602500000	-13.6074
2610000000	-12.1338
2617500000	-10.9685
2625000000	-10.0899
2632500000	-9.35266
2640000000	-8.68256

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
2647500000	-8.10969
2655000000	-7.66873
2662500000	-7.32193
2670000000	-7.04681
2677500000	-6.88155
2685000000	-6.79842
2692500000	-6.70597
2700000000	-6.73505
2707500000	-6.83533
2715000000	-6.98133
2722500000	-7.1986
2730000000	-7.47447
2737500000	-7.88085
2745000000	-8.41367
2752500000	-9.03218
2760000000	-9.71614
2767500000	-10.4983
2775000000	-11.3214
2782500000	-12.1437
2790000000	-12.846
2797500000	-13.3059
2805000000	-13.2129
2812500000	-12.7489
2820000000	-12.0574
2827500000	-11.251
2835000000	-10.2938
2842500000	-9.48321
2850000000	-8.78991
2857500000	-8.24627
2865000000	-7.77833
2872500000	-7.39123
2880000000	-7.06851
2887500000	-6.79903
2895000000	-6.58225
2902500000	-6.44307
2910000000	-6.37051
2917500000	-6.36752
2925000000	-6.43219
2932500000	-6.58611

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
2940000000	-6.7503
2947500000	-6.97315
2955000000	-7.32457
2962500000	-7.76404
2970000000	-8.31695
2977500000	-9.02272

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
2985000000	-9.93166
2992500000	-11.0576
3000000000	-12.4351

1.2 Hasil Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi Single Elemen

Frekuensi (GHz)	VSWR
1500000000	1.915588045
1507500000	1.904548422
1515000000	1.908380008
1522500000	1.919392673
1530000000	1.93508768
1537500000	1.971982
1545000000	2.032289404
1552500000	2.091176106
1560000000	2.168453614
1567500000	2.252112106
1575000000	2.334219342
1582500000	2.431486739
1590000000	2.571719437
1597500000	2.696269189
1605000000	2.84200537
1612500000	2.990265483
1620000000	3.179780219
1627500000	3.366885726
1635000000	3.520864717
1642500000	3.65848598
1650000000	3.795660644
1657500000	3.881096777
1665000000	3.905092786
1672500000	3.910578423
1680000000	3.944493483
1687500000	3.941097643
1695000000	3.932222274
1702500000	3.854883507

Frekuensi (GHz)	VSWR
1710000000	3.761699539
1717500000	3.589392304
1725000000	3.397509267
1732500000	3.185236099
1740000000	2.976142129
1747500000	2.782465824
1755000000	2.603574514
1762500000	2.455394728
1770000000	2.30255111
1777500000	2.203990786
1785000000	2.122658097
1792500000	2.077342887
1800000000	2.042455131
1807500000	2.025613389
1815000000	2.022878496
1822500000	2.032156556
1830000000	2.095140261
1837500000	2.186368236
1845000000	2.297592916
1852500000	2.428074983
1860000000	2.534595391
1867500000	2.643542441
1875000000	2.73225812
1882500000	2.762089807
1890000000	2.83138165
1897500000	2.846611531
1905000000	2.832055307
1912500000	2.829046489

Frekuensi (GHz)	VSWR
1920000000	2.842365092
1927500000	2.834643545
1935000000	2.81584786
1942500000	2.783195537
1950000000	2.716957509
1957500000	2.624374324
1965000000	2.547920305
1972500000	2.469886768
1980000000	2.424267093
1987500000	2.363008301
1995000000	2.290795996
2002500000	2.247848785
2010000000	2.196626045
2017500000	2.114012567
2025000000	2.051036063
2032500000	1.990650136
2040000000	1.917072687
2047500000	1.852984296
2055000000	1.801524472
2062500000	1.760783377
2070000000	1.719836961
2077500000	1.675158537
2085000000	1.628486731
2092500000	1.589483766
2100000000	1.528654831
2107500000	1.472611504
2115000000	1.442896027
2122500000	1.400846808
2130000000	1.350175509
2137500000	1.306253899
2145000000	1.273429179
2152500000	1.241238499
2160000000	1.201136654
2167500000	1.164948265
2175000000	1.135892092
2182500000	1.101335278
2190000000	1.069913923
2197500000	1.057122037
2205000000	1.048290779

Frekuensi (GHz)	VSWR
2212500000	1.040063775
2220000000	1.039994549
2227500000	1.053033127
2235000000	1.081169067
2242500000	1.111251523
2250000000	1.130995673
2257500000	1.172767423
2265000000	1.220308554
2272500000	1.262096654
2280000000	1.302890389
2287500000	1.357932617
2295000000	1.426063973
2302500000	1.489247288
2310000000	1.545104401
2317500000	1.605848934
2325000000	1.654517795
2332500000	1.691513996
2340000000	1.716330164
2347500000	1.758556295
2355000000	1.806147144
2362500000	1.844645795
2370000000	1.892469594
2377500000	1.949124488
2385000000	1.985725647
2392500000	1.995237894
2400000000	2.014108084
2407500000	2.035752948
2415000000	2.066259333
2422500000	2.092719381
2430000000	2.114172786
2437500000	2.142034995
2445000000	2.152418678
2452500000	2.145778558
2460000000	2.13740558
2467500000	2.133743105
2475000000	2.104113285
2482500000	2.054904715
2490000000	2.033118556
2497500000	1.983836979

Frekuensi (GHz)	VSWR
2505000000	1.90967647
2512500000	1.83827332
2520000000	1.768327959
2527500000	1.675753519
2535000000	1.574197987
2542500000	1.482248813
2550000000	1.393450286
2557500000	1.30425331
2565000000	1.23667765
2572500000	1.214337103
2580000000	1.244647265
2587500000	1.30898928
2595000000	1.407862773
2602500000	1.5276507
2610000000	1.657277523
2617500000	1.78886511
2625000000	1.911080859
2632500000	2.033502669
2640000000	2.16466009
2647500000	2.295497079
2655000000	2.410547631
2662500000	2.511426888
2670000000	2.598952497
2677500000	2.655082792
2685000000	2.684403273
2692500000	2.717909769
2700000000	2.707266566
2707500000	2.671291083
2715000000	2.620858431
2722500000	2.549787407
2730000000	2.46583092
2737500000	2.353486864
2745000000	2.223683546
2752500000	2.093586106

Frekuensi (GHz)	VSWR
2760000000	1.970589392
2767500000	1.851423722
2775000000	1.745743356
2782500000	1.656279091
2790000000	1.590263027
2797500000	1.551429039
2805000000	1.55902535
2812500000	1.598878103
2820000000	1.665013266
2827500000	1.754095958
2835000000	1.880635775
2842500000	2.010296239
2850000000	2.142183882
2857500000	2.262527464
2865000000	2.380650493
2872500000	2.490464497
2880000000	2.59178873
2887500000	2.684185675
2895000000	2.764296421
2902500000	2.818708082
2910000000	2.84806422
2917500000	2.849286311
2925000000	2.823066682
2932500000	2.762819279
2940000000	2.701722311
2947500000	2.623626155
2955000000	2.51062052
2962500000	2.384497252
2970000000	2.245920947
2977500000	2.095431396
2985000000	1.935674602
2992500000	1.777683351
3000000000	1.627833223

1.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Single Elemen Horizontal

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
0	-58.3
15	-58.7
30	-60.8
45	-61.3
60	-60.7
75	-60.4
90	-62.9
105	-63.8
120	-62.2
135	-69.4

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
150	-70.2
165	-66.8
180	-65.7
195	-63
210	-70.2
225	-68.5
240	-64.2
255	-63
270	-62.1
285	-63.2

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
300	-61.7
315	-60.8
330	-60.4
345	-60
360	-58.3

1.4 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Single Elemen Vertikal

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
0	-60.6
15	-62.1
30	-64.4
45	-65.1
60	-67.4
75	-69.5
90	-71.5
105	-69.3
120	-68.5

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
135	-67.7
150	-70.9
165	-74.1
180	-77
195	-72.2
210	-69.9
225	-68.6
240	-70.2
255	-71.6

Sudut (⁰)	Level Daya (dBm)
270	-73.2
285	-70.7
300	-68.3
315	-66.4
330	-64.4
345	-62.3
360	-60.6

2. Pengukuran Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

2.1 Hasil Pengukuran Return Loss Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
1500000000	-9.233057
1507500000	-11.06059
1515000000	-13.9306

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
1522500000	-18.20202
1530000000	-21.05962
1537500000	-20.40373

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
1545000000	-20.05946
1552500000	-22.21932
1560000000	-34.01759
1567500000	-24.49821
1575000000	-16.10097
1582500000	-11.99144
1590000000	-9.610383
1597500000	-8.220969
1605000000	-7.621013
1612500000	-7.556175
1620000000	-8.003663
1627500000	-8.705716
1635000000	-9.214669
1642500000	-9.026969
1650000000	-8.132229
1657500000	-7.011234
1665000000	-6.200755
1672500000	-5.843213
1680000000	-6.063613
1687500000	-6.792251
1695000000	-8.249046
1702500000	-10.45152
1710000000	-12.96051
1717500000	-13.73569
1725000000	-12.37801
1732500000	-11.21538
1740000000	-11.30053
1747500000	-12.78958
1755000000	-16.62969
1762500000	-27.96794
1770000000	-21.44401
1777500000	-14.41237
1785000000	-11.59116
1792500000	-10.61252
1800000000	-10.61349
1807500000	-11.87435
1815000000	-14.23137
1822500000	-17.70658
1830000000	-18.08685

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
1837500000	-14.74512
1845000000	-12.09862
1852500000	-10.84216
1860000000	-10.63226
1867500000	-11.65525
1875000000	-14.64613
1882500000	-21.8584
1890000000	-28.69772
1897500000	-17.9106
1905000000	-14.72637
1912500000	-14.01346
1920000000	-15.14424
1927500000	-17.65097
1935000000	-19.04372
1942500000	-16.27419
1950000000	-13.17338
1957500000	-11.21935
1965000000	-10.15242
1972500000	-9.691705
1980000000	-9.913942
1987500000	-10.78352
1995000000	-12.16105
2002500000	-13.78784
2010000000	-15.03747
2017500000	-14.94249
2025000000	-13.8154
2032500000	-12.86282
2040000000	-12.39998
2047500000	-12.91439
2055000000	-14.37202
2062500000	-16.87513
2070000000	-22.08291
2077500000	-36.83078
2085000000	-26.68826
2092500000	-21.2062
2100000000	-18.8354
2107500000	-17.95359
2115000000	-17.8422
2122500000	-17.96177

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
2130000000	-17.56109
2137500000	-16.26379
2145000000	-14.90058
2152500000	-13.86474
2160000000	-13.27311
2167500000	-13.18163
2175000000	-13.41403
2182500000	-13.99854
2190000000	-14.79922
2197500000	-15.71946
2205000000	-16.83751
2212500000	-18.26166
2220000000	-19.54745
2227500000	-20.03347
2235000000	-19.69339
2242500000	-18.66132
2250000000	-17.08772
2257500000	-15.3295
2265000000	-13.81167
2272500000	-12.80126
2280000000	-12.16131
2287500000	-11.89698
2295000000	-11.97505
2302500000	-12.18538
2310000000	-12.44025
2317500000	-12.66012
2325000000	-12.55579
2332500000	-12.18943
2340000000	-11.69469
2347500000	-11.36263
2355000000	-11.36257
2362500000	-11.73289
2370000000	-12.44696
2377500000	-13.5352
2385000000	-15.07975
2392500000	-17.23954
2400000000	-19.82389
2407500000	-23.03606
2415000000	-26.29806

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
2422500000	-27.81004
2430000000	-26.76847
2437500000	-25.99599
2445000000	-27.20781
2452500000	-31.89165
2460000000	-38.85788
2467500000	-24.30571
2475000000	-18.67034
2482500000	-15.75519
2490000000	-14.22667
2497500000	-13.61275
2505000000	-13.72142
2512500000	-14.51156
2520000000	-16.07659
2527500000	-18.5014
2535000000	-21.1162
2542500000	-21.00031
2550000000	-17.95617
2557500000	-15.5342
2565000000	-14.12032
2572500000	-13.58398
2580000000	-13.80652
2587500000	-14.59108
2595000000	-15.86555
2602500000	-17.34448
2610000000	-18.90888
2617500000	-20.29426
2625000000	-21.04402
2632500000	-20.59595
2640000000	-20.16666
2647500000	-20.27974
2655000000	-20.78307
2662500000	-20.52264
2670000000	-18.05147
2677500000	-14.67376
2685000000	-12.0852
2692500000	-10.89051
2700000000	-11.07256
2707500000	-12.68205

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
2715000000	-15.32843
2722500000	-16.51518
2730000000	-15.49169
2737500000	-15.38274
2745000000	-18.08865
2752500000	-28.71252
2760000000	-19.33077
2767500000	-12.38171
2775000000	-9.112067
2782500000	-7.413398
2790000000	-6.583338
2797500000	-6.331642
2805000000	-6.566409
2812500000	-7.34231
2820000000	-8.834519
2827500000	-11.22292
2835000000	-13.31335
2842500000	-11.74672
2850000000	-9.036236
2857500000	-7.216339

Frekuensi (GHz)	Return Loss (dBm)
2865000000	-6.170362
2872500000	-5.596359
2880000000	-5.352777
2887500000	-5.35657
2895000000	-5.664248
2902500000	-6.407472
2910000000	-7.868672
2917500000	-10.23533
2925000000	-11.84487
2932500000	-9.984838
2940000000	-7.574863
2947500000	-6.015822
2955000000	-5.134699
2962500000	-4.698096
2970000000	-4.59528
2977500000	-4.831838
2985000000	-5.531741
2992500000	-6.983036
3000000000	-9.843162

2.2 Hasil Pengukuran VSWR Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen

Frekuensi (GHz)	VSWR
1500000000	2.055393
1507500000	1.777311
1515000000	1.503527
1522500000	1.280497
1530000000	1.194223
1537500000	1.211064
1545000000	1.220539
1552500000	1.16791
1560000000	1.040634
1567500000	1.126706
1575000000	1.371516
1582500000	1.671784
1590000000	1.988355

Frekuensi (GHz)	VSWR
1597500000	2.268546
1605000000	2.423849
1612500000	2.442211
1620000000	2.321924
1627500000	2.159761
1635000000	2.058814
1642500000	2.094602
1650000000	2.289974
1657500000	2.610801
1665000000	2.919542
1672500000	3.084268
1680000000	2.980338
1687500000	2.68661

Frekuensi (GHz)	VSWR
1695000000	2.261869
1702500000	1.857997
1710000000	1.580286
1717500000	1.517912
1725000000	1.633282
1732500000	1.758376
1740000000	1.748209
1747500000	1.595251
1755000000	1.345783
1762500000	1.083242
1770000000	1.185037
1777500000	1.469974
1785000000	1.714789
1792500000	1.835656
1800000000	1.835524
1807500000	1.684019
1815000000	1.482256
1822500000	1.299427
1830000000	1.284774
1837500000	1.44835
1845000000	1.660822
1852500000	1.805076
1860000000	1.832969
1867500000	1.707676
1875000000	1.454658
1882500000	1.175659
1890000000	1.076278
1897500000	1.291463
1905000000	1.449537
1912500000	1.497556
1920000000	1.423946
1927500000	1.30164
1935000000	1.251336
1942500000	1.36285
1950000000	1.562288
1957500000	1.757898
1965000000	1.901608
1972500000	1.974656
1980000000	1.938482

Frekuensi (GHz)	VSWR
1987500000	1.812745
1995000000	1.654541
2002500000	1.514015
2010000000	1.430318
2017500000	1.436081
2025000000	1.51197
2032500000	1.588782
2040000000	1.631177
2047500000	1.584278
2055000000	1.47268
2062500000	1.334537
2070000000	1.170794
2077500000	1.029228
2085000000	1.097097
2092500000	1.190663
2100000000	1.258224
2107500000	1.289815
2115000000	1.294106
2122500000	1.289503
2130000000	1.305256
2137500000	1.363363
2145000000	1.438653
2152500000	1.508333
2160000000	1.55409
2167500000	1.561605
2175000000	1.542753
2182500000	1.498625
2190000000	1.444947
2197500000	1.391463
2205000000	1.336233
2212500000	1.278311
2220000000	1.235507
2227500000	1.221273
2235000000	1.23113
2242500000	1.264142
2250000000	1.325134
2257500000	1.413152
2265000000	1.512246
2272500000	1.594213

Frekuensi (GHz)	VSWR
2280000000	1.654515
2287500000	1.681633
2295000000	1.67348
2302500000	1.652113
2310000000	1.627341
2317500000	1.606902
2325000000	1.616497
2332500000	1.65171
2340000000	1.703342
2347500000	1.740905
2355000000	1.740912
2362500000	1.699177
2370000000	1.626705
2377500000	1.53323
2385000000	1.427782
2392500000	1.318603
2400000000	1.227291
2407500000	1.151697
2415000000	1.101785
2422500000	1.084834
2430000000	1.096161
2437500000	1.105578
2445000000	1.091202
2452500000	1.052196
2460000000	1.023074
2467500000	1.12973
2475000000	1.263832
2482500000	1.389543
2490000000	1.482581
2497500000	1.527241
2505000000	1.518984
2512500000	1.463401
2520000000	1.372755
2527500000	1.269712
2535000000	1.19284
2542500000	1.195684
2550000000	1.289717
2557500000	1.401596
2565000000	1.489982

Frekuensi (GHz)	VSWR
2572500000	1.529453
2580000000	1.512628
2587500000	1.45821
2595000000	1.383681
2602500000	1.314176
2610000000	1.255771
2617500000	1.214028
2625000000	1.194606
2632500000	1.205969
2640000000	1.21754
2647500000	1.214424
2655000000	1.201138
2662500000	1.207896
2670000000	1.286103
2677500000	1.452887
2685000000	1.662183
2692500000	1.798822
2700000000	1.775826
2707500000	1.604909
2715000000	1.413213
2722500000	1.351177
2730000000	1.403965
2737500000	1.410109
2745000000	1.284707
2752500000	1.076143
2760000000	1.242176
2767500000	1.632927
2775000000	2.078178
2782500000	2.483847
2790000000	2.763879
2797500000	2.864076
2805000000	2.770366
2812500000	2.505219
2820000000	2.133019
2827500000	1.757468
2835000000	1.550824
2842500000	1.697677
2850000000	2.092797
2857500000	2.544186

Frekuensi (GHz)	VSWR
2865000000	2.932772
2872500000	3.21077
2880000000	3.347443
2887500000	3.345216
2895000000	3.174841
2902500000	2.833022
2910000000	2.356674
2917500000	1.889235
2925000000	1.687143
2932500000	1.927316
2940000000	2.436884

Frekuensi (GHz)	VSWR
2947500000	3.002202
2955000000	3.481169
2962500000	3.787333
2970000000	3.868119
2977500000	3.687513
2985000000	3.245816
2992500000	2.620282
3000000000	1.949807

2.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen Horizontal

(^o)	Level Daya (dBm)
0	-58.7
15	-57.3
30	-57
45	-59.1
60	-68.1
75	-82.2
90	-65.1
105	-71.5
120	-79.2

(^o)	Level Daya (dBm)
135	-67.2
150	-69.3
165	-70.7
180	-71.5
195	-70.7
210	-64.2
225	-67.6
240	-73.6
255	-64.7

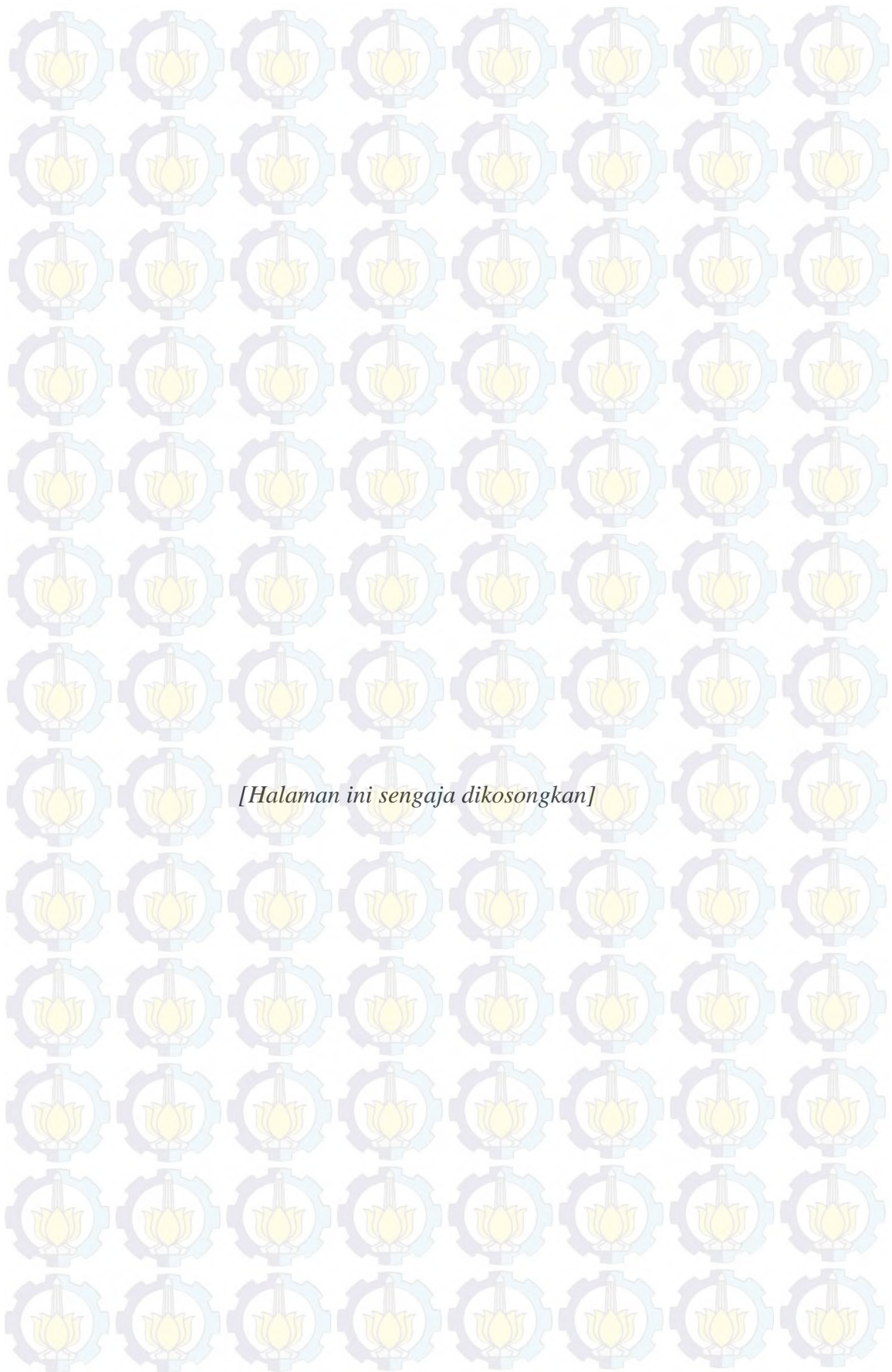
(^o)	Level Daya (dBm)
270	-73.6
285	-84.2
300	-71.1
315	-61.6
330	-60.8
345	-63.8
360	-58.7

2.4 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Antipodal Vivaldi Array Empat Elemen Vertikal

(θ)	Level Daya (dBm)
0	-61.3
15	-60.9
30	-60.7
45	-60.4
60	-63.5
75	-67.3
90	-70.2
105	-69.1
120	-67.4

(θ)	Level Daya (dBm)
135	-66.8
150	-66.9
165	-67
180	-67.2
195	-67
210	-66.8
225	-66.6
240	-66.1
255	-65.6

(θ)	Level Daya (dBm)
270	-65.1
285	-68.8
300	-64.4
315	-64.2
330	-63.3
345	-62.1
360	-61.3



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT HIDUP



Nancy Ardelina lahir di Kediri pada tanggal 30 Mei 1991. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Biswandi dan Lely Ratnawati. Penulis memulai pendidikan di SDK Santa Maria Kediri, kemudian di SMP Negeri 1 Kediri, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Pada tahun 2010 penulis diterima di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopmeber (ITS) Surabaya melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Penulis memilih bidang studi Telekomunikasi Multimedia dan menjadi asisten praktikum Dasar Sistem Telekomunikasi dan Komunikasi Data. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang Magister Telekomunikasi Multimedia Teknik Elektro ITS.